

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL, VIABILIDADE ECONÔMICA  
E QUALIDADE DA ÁGUA DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE  
CHUVA PARA CONFEÇÃO DE CONCRETO EM FÁBRICA DE  
PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO**

**GIOVANNA KIEHN BERTUZZI**

**FLORIANÓPOLIS**

**2018**

GIOVANNA KIEHN BERTUZZI

**POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL, VIABILIDADE ECONÔMICA  
E QUALIDADE DA ÁGUA DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE  
CHUVA PARA CONFECCÃO DE CONCRETO EM FÁBRICA DE  
PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à Universidade Federal de Santa  
Catarina como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Enedir Ghisi, PhD

FLORIANÓPOLIS

2018

**POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL, VIABILIDADE ECONÔMICA  
E QUALIDADE DA ÁGUA DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE  
CHUVA PARA CONFEÇÃO DE CONCRETO EM FÁBRICA DE PRÉ-  
MOLDADOS DE CONCRETO**

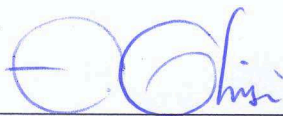
**GIOVANNA KIEHN BERTUZZI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido e julgado adequado como parte dos  
requisitos para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL.

Florianópolis, Novembro de 2018.

Prof<sup>a</sup> Lia Caetano Bastos, Dr<sup>a</sup>  
Coordenadora do TCC

Banca examinadora:



---

Prof Enedir Ghisi, PhD  
Orientador

Prof<sup>a</sup> Liseane Padilha Thives, Dr<sup>a</sup>

Eng. Ana Kelly Marinoski Ribeiro, Dr<sup>a</sup>

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bertuzzi, Giovanna Kiehn  
POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL, VIABILIDADE  
ECONÔMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO  
DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONFECÇÃO DE CONCRETO EM FÁBRICA DE  
PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO / Giovanna Kiehn Bertuzzi ;  
orientador, Enedir Ghisi, 2018.  
95 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Aproveitamento de água de  
chuva. 3. Qualidade da água pluvial. 4. Sustentabilidade  
na confecção de concreto. 5. Análise econômica. I. Ghisi,  
Enedir. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço aos meus pais, Maurício Bertuzzi e Míriam Bertuzzi pela educação que me proporcionaram e pelo carinho e incentivo dado ao longo de todo o curso de graduação.

Ao meu irmão, Pietro Bertuzzi, que esteve ao meu lado me apoiando e auxiliando na realização deste trabalho.

À minha família, que sempre me incentivou a perseguir o caminho desejado e me ensinou a valorizar o estudo.

Ao meu namorado, Gabriel Luz, por todo apoio que foi dado e pela paciência ao longo desta jornada.

Aos engenheiros Carlos Cavalheiro e Gustavo Rosa pelo auxílio e atenção prestados na elaboração deste trabalho.

Aos membros da banca, Liseane Padilha Thives e Ana Kelly Marinoski Ribeiro, por aceitarem ceder seu tempo para avaliar este trabalho.

Ao professor Enedir Ghisi pela atenção e dedicação durante a orientação deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, apesar de não citados, contribuíram de alguma forma durante o curso de graduação e a elaboração deste trabalho.



## RESUMO

A água potável é um recurso escasso, essencial à população e que é muitas vezes desperdiçado. Este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de economia de água potável por meio de aproveitamento de água de chuva para utilização na confecção de concreto, corte de peças e limpeza de pistas em uma fábrica de peças pré-moldadas de concreto. Também são objetivos do trabalho avaliar a viabilidade econômica da instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva e verificar se a qualidade da água de chuva coletada no local é adequada aos usos pretendidos. A primeira etapa para a execução deste trabalho foi estimar o consumo atual de água na fábrica, a demanda futura de água e a demanda de água de chuva. A demanda futura foi considerada como o dobro do consumo atual, pois a fábrica pretende duplicar a produção e a demanda de água de chuva considerada foi a parcela da demanda total futura que não pode ser suprida pelo poço artesiano localizado na empresa. O cálculo do volume ideal de reservatório, do potencial de economia de água potável e a análise de viabilidade econômica foram realizados por meio do programa Netuno 4 para três diferentes cenários de implantação. Depois disso, duas amostras de água de chuva coletada na fábrica foram avaliadas de acordo com os critérios da NBR 15900 (ABNT, 2009), que define os requisitos para água de amassamento de concreto. O primeiro, segundo e terceiro cenários simulados apresentaram volume ideal de reservatório inferior de 26.000 L, 22.000 L e 24.000 L, respectivamente. Para o volume de reservatório inferior adotado, de 25.000 L, o potencial de economia de água potável encontrado para o primeiro cenário foi de 54,00% e não houve retorno financeiro do investimento para o período de análise considerado, de vinte anos. O segundo cenário e o terceiro cenário apresentaram potencial de economia de água potável de 49,03% e 53,21%, respectivamente, e tempo de retorno do investimento de 127 meses e 183 meses, para o volume de reservatório adotado, de 25.000 L. A respeito da qualidade da água coletada, as duas amostras mostraram-se próprias para uso na confecção de concreto. Portanto, todos os cenários de implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva na fábrica proporcionariam economia de água potável caso fossem instalados e as análises realizadas nas amostras de água de chuva coletadas indicaram que ela poderia ser utilizada para os fins pretendidos. Entretanto, somente o segundo e terceiro cenários gerariam retorno financeiro à empresa caso fossem instalados.

**Palavras chave:** Aproveitamento de água de chuva. Qualidade da água pluvial. Sustentabilidade na confecção de concreto. Análise econômica.





## SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>15</b>
1.1. Contextualização.....	15
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo geral.....	17
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.3. Estrutura do trabalho.....	17
1.4. Descrição da fábrica .....	18
<b>2. Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>21</b>
2.1. Uso da água na construção civil e nas fábricas.....	21
2.2. Aproveitamento de água de chuva.....	25
2.3. Possíveis usos da água de chuva.....	28
2.4. Qualidade da água de chuva .....	34
2.5. Dimensionamento de reservatórios.....	36
2.6. Considerações finais .....	43
<b>3. Método .....</b>	<b>45</b>
3.1. Área de estudo .....	45
3.2. Objeto de estudo .....	46
3.3. Levantamento de dados .....	48
3.3.1. Dados pluviométricos .....	49
3.3.2. Consumo atual de água .....	49
3.3.3. Demanda de água de chuva.....	51
3.3.4. Coeficientes de escoamento superficial da cobertura .....	52
3.4. Potencial de economia de água .....	52
3.5. Análise econômica.....	54
3.6. Verificação da adequabilidade da água ao uso pretendido .....	59
<b>4. Resultados .....</b>	<b>65</b>
4.1. Levantamento de dados .....	65
4.1.1. Dados pluviométricos .....	65
4.1.2. Consumo atual de água .....	67
4.1.3. Demanda de água de chuva.....	67
4.2. Potencial de economia de água potável .....	70
4.3. Análise econômica.....	74

4.4. Adequabilidade da água ao uso pretendido .....	77
4.4.1. Ensaio preliminar .....	78
4.4.2. Tempo de pega e resistência .....	81
4.4.3. Cloretos .....	83
4.4.4. Sulfatos .....	83
<b>5. Conclusão .....</b>	<b>85</b>
5.1. Conclusões gerais .....	85
5.2. Limitações do estudo .....	86
5.3. Sugestões para trabalhos futuros .....	87
<b>Referências .....</b>	<b>88</b>
<b>Apêndice A – Orçamento dos materiais .....</b>	<b>93</b>
<b>Apêndice B – Quantitativos dos materiais .....</b>	<b>95</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Teor máximo de cloreto para aceitação da água para uso no amassamento do concreto .....	30
Tabela 2.2 – Teores máximos de sulfato e álcalis para aceitação da água para uso no amassamento do concreto .....	30
Tabela 2.3 – Teores máximos de substâncias prejudiciais para aceitação da água para uso no amassamento do concreto .....	32
Tabela 2.4 – Comparação dos parâmetros da água de chuva, água potável e exigências da norma colombiana NTC 3459 .....	33
Tabela 2.5 – Comparação dos parâmetros da água de chuva, água potável e exigências da norma colombiana NTC 3459 .....	34
Tabela 2.6 – Volumes dos reservatórios para aproveitamento de água de chuva para uso chuva no Tanque de Provas da Faculdade de Tecnologia de Jahu calculados por meio dos métodos descritos no anexo A da NBR 15527 .....	39
Tabela 2.7 – Cenários do sistema de aproveitamento de água de chuva para uso chuva no Tanque de Provas da Faculdade de Tecnologia de Jahu simulados pelo programa computacional Netuno .....	40
Tabela 4.1 – Consumo de água na fábrica entre Agosto de 2017 e Julho de 2018 .....	67
Tabela 4.2 – Demanda total de água na fábrica .....	68
Tabela 4.3 – Demanda de água que pode ser substituída por água de chuva .....	69
Tabela 4.4 – Dados de entrada Netuno .....	71
Tabela 4.5 – Resultados das simulações .....	72
Tabela 4.6 – Custos de implantação dos cenários simulados .....	75
Tabela 4.7 – Dados de entrada para análise econômica no programa Netuno .....	76
Tabela 4.8 – Resultados análise econômica Netuno .....	77
Tabela 4.9 – Resultados dos ensaios preliminares .....	81
Tabela 4.10 – Resultados dos ensaios de tempo de pega e resistência .....	82
Tabela 4.11 – Limites para aceitação da água em análise .....	82
Tabela 4.12 – Resultados ensaios teor de cloreto .....	83
Tabela 4.13 – Resultados ensaios teor de sulfato .....	83
Tabela A.1 – Orçamento dos materiais necessários para implantação do sistema de aproveitamento de chuva na fábrica .....	93

Tabela B.1 – Quantitativos dos itens necessários para implantação dos três cenários propostos	95
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelo de hierarquia hídrica estendida (3R.6R) para a indústria da construção	25
Figura 2.2 – Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto .....	31
Figura 3.1 – Localização do município de São José.....	46
Figura 3.2 – Localização da fábrica no bairro Fazenda Santo Antônio .....	47
Figura 3.3 – <i>Layout</i> das coberturas da fábrica e respectivas áreas .....	48
Figura 3.4 – Posicionamento das caixas d'água e traçado das tubulações .....	55
Figura 3.5 – Precipitação nas duas semanas anteriores às coletas de água de chuva.....	60
Figura 4.1 – Precipitação anual acumulada da região entre 2002 e 2017 .....	66
Figura 4.2 – Média da precipitação mensal entre os anos de 2002 e 2017 .....	66
Figura 4.3 – Parcelas da demanda futura de água a serem atendidas pelo poço artesiano e pela concessionária ou água de chuva.....	70
Figura 4.4 – Variação do potencial de economia de água potável da concessionária para diferentes volumes de reservatório .....	73
Figura 4.5 – Percentuais de atendimento da demanda de água não potável para diferentes volumes de reservatório.....	73
Figura 4.6 – Volume de água de chuva extravasado para diferentes volumes de reservatório	74
Figura 4.7 – Aparência da água da primeira e da segunda coleta .....	78
Figura 4.8 – Aparência da água da primeira coleta .....	79
Figura 4.9 – Aparência da água da segunda coleta.....	79

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 – Requisitos a serem cumpridos nos ensaios preliminares para a aprovação da água de chuva para amassamento do concreto .....	29
---	----

## **1. Introdução**

### **1.1. Contextualização**

A água é encontrada em abundância no planeta, entretanto, somente 2,5% de seu total é composto por água doce. Somente 0,266% desta pequena quantidade de água doce compõem os rios, lagos e reservatórios, o que representa apenas 0,007% da massa hídrica do planeta. Grande parte da água doce está congelada nas calotas polares, não se encontrando, portanto facilmente disponível para captação, tratamento e utilização. Somado a isso, os recursos hídricos ainda encontram-se distribuídos desigualmente ao redor do globo, tornando algumas regiões mais vulneráveis a problemas no fornecimento de água (TOMAZ, 2010).

O crescimento populacional e as mudanças no estilo de vida da população impulsionam a demanda por água no planeta. No Brasil, estima-se que houve um aumento de 80% na demanda de água nos últimos 20 anos e a previsão é de um aumento de 30% até 2030 (ANA, 2017).

Essencial para a produção de alimentos, para a manutenção da biodiversidade e da saúde da população, a água potável é limitada e, portanto deve ser utilizada de forma racional. A falta de água limpa está fortemente ligada à disseminação de doenças e à redução da produção agrícola, o que implicaria em um aumento ainda maior da desnutrição no mundo (PIMENTEL et al., 2004).

A falta de água adequada para consumo já é uma realidade em várias regiões do mundo, provocando sérias implicações à qualidade de vida nestas áreas. Segundo ANA (2017), o diagnóstico feito para o Brasil em 2010 apontava a vulnerabilidade do abastecimento de água de 46% das cidades e a necessidade de novas fontes hídricas para 9% das cidades.

A construção civil é uma das atividades que mais utiliza recursos naturais e gera resíduos. Portanto, é fundamental que ações sejam tomadas para reduzir ao máximo estes impactos negativos. A água é utilizada em grandes quantidades nas construções, evidenciando a necessidade de implantação de programas de uso sustentável de recursos hídricos nos canteiros (PESSARELO, 2008).

Estratégias para economia de água potável na construção civil incluem redução de uso da água e redução dos desperdícios, contudo, uma medida que associada a estas traria resultados efetivos é a utilização de água de chuva. A água de chuva não pode ser utilizada

para fins potáveis, entretanto, ela pode ser utilizada para a lavagem de pisos ou de automóveis e descarga de vasos sanitários, entre outros, dispensando o uso de água potável para estes fins.

Segundo Arnaldo Forti Battagin (gerente de laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland), a água de chuva pode ainda ser empregada na fabricação de concreto, desde que seja testada e apresente pH maior que 5, além de cumprir os outros requisitos exigidos pela norma ABNT NBR 15900 (CIMENTO ITAMBÉ, 2015).

A captação de água de chuva existe desde a antiguidade, quando a importância da água já havia sido percebida. Recentemente, os estudos a respeito deste tema tornaram-se mais frequentes devido ao aumento da preocupação acerca do uso sustentável da água. Sistemas de aproveitamento de água de chuva prometem suprir parte da demanda de água, reduzindo assim a quantidade de água necessária advinda de outras fontes (AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016).

A utilização de água de chuva em edifícios vem se intensificando nos últimos anos, contudo, ela ainda não é feita em larga escala. Os motivos para a baixa popularidade do sistema são diversos, podendo ser citados o ceticismo de parte da população a respeito do efetivo funcionamento do mecanismo e da qualidade da água fornecida e a questão financeira, visto que a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva exige investimentos iniciais.

A qualidade da água proveniente de sistemas de aproveitamento de água de chuva depende de diversos fatores, como os materiais que compõem o sistema e a região onde a água é coletada. Alguns materiais comumente usados em coberturas podem conter substâncias poluentes e por este motivo, deve ser feita uma análise para garantir que estes materiais não estejam contaminando a níveis impróprios a água coletada. A localização geográfica do local de coleta também influirá na qualidade da água, visto que em certas regiões existe alta concentração de poluentes na atmosfera (CAMPISANO et al., 2017).

O benefício econômico da instalação do sistema ainda é uma questão que gera opiniões divergentes entre especialistas. O tempo de retorno do investimento é muito diferente para cada região, sendo altamente dependente do custo da água fornecida pela concessionária local (o qual tende a aumentar nos próximos anos), da intensidade de chuvas e do dimensionamento adequado do reservatório (AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016).



## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial de economia de água potável por meio da implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em uma fábrica de pré-moldados de concreto localizada em São José/SC. Será considerado o uso de água de chuva na confecção de concreto e nas atividades de corte de peças de concreto e limpeza de pistas.

### 1.2.2. Objetivos específicos

Para a obtenção dos resultados pretendidos é necessário o cumprimento dos seguintes objetivos:

- Estimativa do consumo diário de água na fábrica;
- Estimativa do consumo diário de água com as atividades que não requerem potabilidade da água;
- Cálculo do volume ideal para o reservatório do sistema de aproveitamento de água de chuva;
- Cálculo do tempo de retorno do investimento;
- Avaliação da adequabilidade da água de chuva coletada para utilização nas atividades pretendidas.

## 1.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentada a contextualização, que aborda noções a respeito do consumo de água, da necessidade de seu uso racional e da possibilidade de uso de água de chuva para minimizar o consumo de água potável. Neste capítulo ainda são expostos o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho, assim como a justificativa para realização do mesmo.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica. Nesta parte estão explicados os conceitos julgados necessários para a compreensão deste trabalho. São abordados temas como o consumo de água na construção civil, aproveitamento de água de

chuva, algumas possibilidades de utilização de água de chuva, a qualidade da água captada e métodos de dimensionamento de reservatórios.

O método utilizado para as estimativas de consumo de água é exposto no terceiro capítulo. Neste capítulo também consta a metodologia escolhida para estimar o potencial de economia de água por meio da análise das coberturas existentes no local e do índice pluviométrico da região. Além disso, nesse capítulo são apresentados os métodos utilizados para a análise econômica e para a verificação da adequabilidade da água de chuva aos usos pretendidos.

No quarto capítulo são apresentados os resultados, contemplando o potencial de economia de água para diferentes cenários, os quais consideram diferentes áreas de captação de água de chuva. Para cada cenário ainda é apresentado o resultado da análise econômica e do respectivo tempo de retorno do investimento. Nesse capítulo também são expostos os resultados dos ensaios realizados nas amostras de água de chuva coletadas.

No último capítulo são apresentadas as conclusões e considerações finais do trabalho, assim como as limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

#### 1.4. Descrição da fábrica

A empresa em estudo localiza-se no município de São José (SC) e atua no ramo de fabricação de peças de concreto. Na fábrica são produzidas estacas de concreto, galpões industriais, vigas de ponte e lajes, sendo utilizada em grande parte das peças a tecnologia da protensão. As atividades desenvolvidas na empresa demandam grandes quantidades de água, a qual é utilizada na composição do concreto, na limpeza de formas e superfícies, na lavagem de caminhões, nos sanitários e para outras finalidades diversas.

As necessidades atuais de água potável e não potável da fábrica são supridas por um poço artesiano, o qual está sendo utilizado próximo de sua capacidade máxima. A empresa tem interesse em ampliar suas atividades, e, portanto, é necessário que ela passe a utilizar água fornecida pela concessionária (CASAN) além da proveniente do poço, de modo a suprir a demanda de água que aumentará.

A avaliação do potencial de economia de água potável nesta empresa por meio de implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva é, portanto motivada pela possibilidade de minimizar os gastos futuros com água de concessionária. Será considerado um cenário onde o ritmo de produção de peças dobrará, duplicando conseqüentemente a demanda por recursos hídricos. Para o cenário considerado, parte da demanda futura de água

será suprida pelo poço artesiano e a parcela da demanda que não for atendida pelo volume de água disponível no poço será atendida pelo abastecimento da concessionária local e pelo sistema de captação de água de chuva.



## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Uso da água na construção civil e nas fábricas**

A indústria da construção utiliza recursos naturais em larga escala, e entre estes recursos encontra-se a água. A água é utilizada na construção para diversos propósitos, como por exemplo, na fabricação do concreto e da argamassa, na cura do concreto e em atividades de limpeza. Conforme apontado por Santos, Silva e Cerqueira (2015), já foram realizados diversos estudos a respeito da utilização de água em edifícios, contudo, o assunto de consumo de água nas etapas de construção foi pouco explorado até o momento. Além disso, a preocupação com o uso racional da água no ramo da construção é quase inexistente por parte das construtoras, as quais utilizam a água com pouco ou nenhum controle de desperdícios. Em geral, a água não é sequer contabilizada como insumo nas composições de custos, não sendo, portanto considerada como material de construção. Segundo McCormack et al. (2007), os esforços de redução do consumo de água são direcionais à etapa de operação dos edifícios, sendo negligenciado o consumo nos processos relacionados à construção do edifício, incluindo a produção de materiais e produtos e a água consumida no canteiro de obras.

Em regiões áridas, como o Kuwait, por exemplo, a disponibilidade de água potável é escassa, e embora o país possua meios para dessalinizar a água a ponto de torná-la potável, este procedimento ainda tem um custo elevado. Dados de 2003 do Ministério de Eletricidade e Água (MEW) do Kuwait apontavam que o governo gastava em média 200 milhões de dinar couaitianos (equivalente a aproximadamente 2,5 bilhões de reais) por ano com subsídios para produzir 1,1 milhão de m<sup>3</sup> de água potável diariamente (AL-GHUSAIN; TERRO, 2003). Devido às dificuldades e aos custos elevados com obtenção de água potável, o uso de fontes alternativas, como águas residuais na agricultura e nas indústrias vem sendo cada vez mais considerado em todo o mundo. Um estudo realizado por Al-Ghusain e Terro (2003) demonstrou que a água residual terciária, produzida pelas estações de tratamento do Kuwait, se mostrou própria para utilização em canteiros de obra, inclusive podendo ser utilizada para a confecção do concreto.

Zhong e Wu (2015) realizaram um estudo em Singapura investigando a performance de estruturas de concreto armado e de aço estrutural quanto à sustentabilidade econômica, sustentabilidade ambiental e construtibilidade. Os resultados indicaram que construções realizadas com concreto armado consomem em média 1467,97 litros de água por m<sup>2</sup> construído enquanto estruturas de aço consomem somente 1,89 L/m<sup>2</sup>. Essa diferença se deve

às diferenças no processo construtivo dos dois tipos de estrutura. Entretanto, foi descoberto que o consumo de água não é um fator decisivo na escolha do material a ser utilizado nas estruturas dos edifícios. Entre os fatores considerados mais importantes no processo de decisão, estão características como custos estruturais, duração, segurança e qualidade da construção.

O consumo de água em edifícios geralmente é associado ao que é consumido durante o uso e operação dos mesmos. Entretanto, durante o ciclo de vida de um edifício, essa não é a única etapa em que há consumo de água. Processos como a extração, produção, fabricação, transporte de produtos, além das etapas construtivas no próprio canteiro de obras contemplam algumas outras fontes de consumo direto e indireto de água (MCCORMACK et al., 2007). Os autores se referem a esse consumo como água incorporada.

A redução do desperdício de água em construções está ligada à conscientização e qualificação dos empregados, assim como atividades de manutenção adequadas. Com esta motivação, Santos, Silva e Cerqueira (2015) analisaram o consumo de água durante a construção de um edifício residencial de alto padrão na cidade de Recife (PE). O edifício analisado possuía uma torre com dezessete pavimentos tipo e área construída de 7.467,66 m<sup>2</sup>. Para melhor entendimento, os autores classificaram o consumo no local da construção em três categorias. A primeira compreende o consumo humano, o qual engloba a utilização da água por funcionários em locais como bebedouros, cozinhas e sanitários. A segunda categoria refere-se ao uso da água nas atividades construtivas, compreendendo o emprego da água como material de construção, em atividades de limpeza ou qualquer outro fim construtivo. A última diz respeito à água desperdiçada, sendo a porção cujo consumo poderia ter sido evitado e não agrega qualquer valor ao produto final.

Na análise realizada por Santos, Silva e Cerqueira (2015), foram obtidas informações a respeito do número de empregados na obra, custos com água, calendário de atividades e foi verificado o consumo mensal de água no local da construção por meio da leitura periódica do hidrômetro instalado no local. Informações adicionais foram obtidas por meio da aplicação de questionários. Para a construção do edifício em análise, o concreto utilizado na execução da fundação e da estrutura não foi fabricado no local da construção. Por este motivo, as análises não englobam o consumo de água na fabricação do concreto, somente o que é consumido pelos trabalhadores e em outras atividades construtivas.

Do total de água consumida durante todos os estágios da construção, 57,90% foi identificado como consumido pelos trabalhadores nos vestiários e sanitários, 16,91% foi consumido nas etapas de construção e os 25,19% restantes foram consumidos com outros

fins, como para atividades de limpeza, desperdícios e também uso de água na cozinha do local. Dentre as atividades construtivas, a que apresentou maior consumo de água foi a de impermeabilização devido aos testes necessários, representando 7,79% do consumo. As etapas de execução da estrutura apresentaram consumo de 6,77% do total de água consumida, compreendendo principalmente o consumo na realização da cura do concreto. O percentual de água consumido na confecção da argamassa usada na execução da alvenaria do edifício representou apenas 0,24% do total e para a confecção da argamassa utilizada em revestimentos foi identificado um percentual de 2,00%. Das atividades analisadas, a que teve menor representatividade no consumo de água foi a etapa de fundação, representando apenas 0,11%.

Para a construção analisada por Santos, Silva e Cerqueira (2015), o fornecimento de água foi inteiramente realizado por caminhões-pipa. O volume total de água consumida durante os 36 meses da construção foi de 6.175,00 m<sup>3</sup>, representando 0,74% dos custos totais da construção. Conforme estimativa realizada por Santos, Silva e Cerqueira (2015), caso o concreto utilizado na fundação e na estrutura da edificação fosse produzido no local da construção, haveria um aumento de aproximadamente 475,18 m<sup>3</sup> no consumo total de água, aumentando a porcentagem dos gastos financeiros com água em relação ao custo total da obra para 0,79%.

O consumo diário de água por empregado para os usos pessoais de descarga, banho e higiene pessoal foi de 86,64 litros, que é um valor superior aos indicados na literatura (de 40 a 45 litros por dia por trabalhador). De acordo com Santos, Silva e Cerqueira (2015), a discrepância dos valores deve-se provavelmente ao fato de que os trabalhadores da obra em estudo passavam grande parte do dia na obra, e devido às altas temperaturas na cidade de Recife tomavam no mínimo um banho por dia no local de trabalho, situação que não se repete para todas as regiões do Brasil.

O conceito de hierarquia de ações de modo a reduzir o consumo de água já vem sendo usado por muitos pesquisadores. Com as ações listadas e organizadas em ordem de prioridade, o trabalho de planejamento da adoção de medidas poupadoras de água se torna mais fácil (WAIDYASEKARA; SILVA; RAMEEZDEEN, 2017).

Uma estratégia hierárquica de uso eficiente da água em construções consiste no princípio 5R, o qual é análogo ao princípio 3R, aplicado à redução de desperdícios. O princípio 5R define as seguintes ações, organizadas em ordem decrescente de prioridade, como as fundamentais para se obter eficiência hídrica em construções: Reduzir o consumo, Reduzir perda e desperdício, Reutilizar água, Reciclar água e Recorrer a fontes alternativas. O

uso de água de chuva se enquadra na utilização de fontes alternativas (SILVA-AFONSO; PIMENTEL-RODRIGUES, 2011).

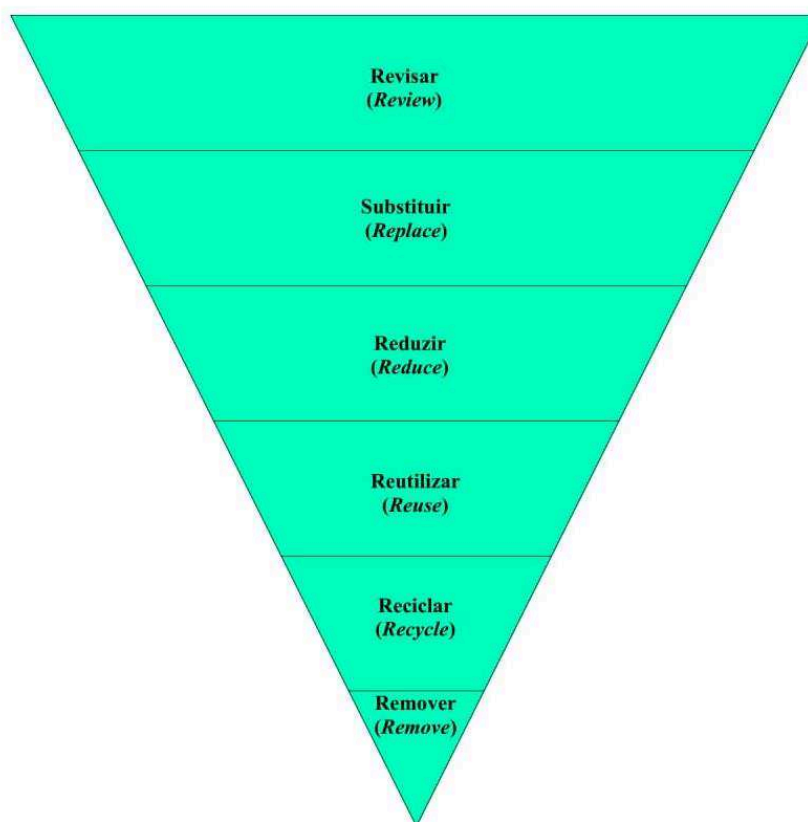
Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017) sugerem uma nova hierarquia de uso eficiente da água nas construções, a qual tem a intenção de se aproximar mais da realidade e da exequibilidade, pelo fato de ter sido elaborada com dados obtidos de questionários aplicados a profissionais da construção experientes. Entre os funcionários escolhidos para participar dos questionários havia gerentes de projeto, engenheiros civis, a equipe responsável pela elaboração do orçamento e arquitetos. Com base nos 105 questionários válidos respondidos, os quais consideraram as opiniões dos profissionais a respeito da aplicabilidade das ações de eficiência hídrica e também suas preferências, ou seja, quais ações estes consideravam mais importantes, Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017) esquematizaram a hierarquia apresentada na Figura 2.1.

Na hierarquia proposta por Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017) o termo “Revisar” corresponde a eliminar o uso de água quando possível, “Substituir” refere-se à utilização de fontes alternativas, “Reduzir” consiste na aplicação de tecnologias e estratégias que melhorem a eficiência do uso da água, sendo estas as ações consideradas mais importantes. As outras ações, as quais também devem ser consideradas são as de “Reutilizar”, que compreende a coleta de água após a utilização da mesma em determinada tarefa e a utilização deste recurso coletado em outra atividade sem necessidade de tratamento, “Reciclar”, o qual promove o reuso de água potável, e “Remover”, que consiste na correta disposição final dos efluentes.

Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2016) também investigaram a percepção dos profissionais da construção pertencentes à indústria da construção civil do Sri Lanka a respeito das barreiras e dos motivantes para o uso eficiente de água nas construções. As entrevistas mostraram que o custo da água e as fontes de água são motivantes para a adoção de medidas de eficiência do uso de água e que a barreira mais relevante percebida foi a baixa prioridade dada à gestão do uso de água. Os entrevistados ainda mostraram-se mais propensos a adotar medidas “suaves”, que seriam pequenas mudanças de comportamento e instalação de dispositivos de baixo custo do que a adotar medidas mais agressivas, como a implantação de tecnologias que melhoram a eficiência do uso da água.



**Figura 2.1 – Modelo de hierarquia hídrica estendida (3R.6R) para a indústria da construção**



Fonte: Modificado de Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017).

## 2.2. Aproveitamento de água de chuva

Devido às crescentes preocupações com a disponibilidade de água potável em quantidade adequada para todos, justificadas pelo crescimento populacional e pela diminuição da quantidade de água limpa disponível na natureza, estratégias para reduzir o consumo deste bem vem sendo buscadas. A utilização de água de chuva como uma fonte alternativa é uma estratégia interessante e efetiva na maior parte dos casos, pois ela minimiza a quantidade de água potável que é consumida em situações que não requerem potabilidade.

No Brasil, estudos mostram que para diferentes regiões existe grande variabilidade entre os potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva. A economia de água potável varia entre 48% e 100%, sendo o menor índice obtido para a região sudeste do país e o maior para a região norte (GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007).

Sistemas de aproveitamento de água de chuva podem ser instalados em edificações de diferentes tipos, como em residências, edifícios comerciais ou residenciais, fábricas, entre muitos outros. O uso de água de chuva deve ser considerado sempre que possível, especialmente em casos onde o consumo de água é significativo.

A água de chuva pode ser utilizada em residências, trazendo benefícios ambientais e possivelmente econômicos aos moradores. Um estudo realizado por Ghisi e Schondermark (2013) a respeito dos benefícios econômicos da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em residências do estado de Santa Catarina (Brasil) mostra que os benefícios econômicos da instalação desses sistemas em residências depende da demanda de água da edificação. Embora todas as residências tenham benefícios ambientais da instalação destes sistemas, somente as com demandas maiores de água ou com mais moradores apresentaram benefícios econômicos.

Além disso, a água de chuva ainda pode ser utilizada em edifícios multifamiliares. Ghisi e Ferreira (2007) realizaram uma análise do potencial de economia de água potável por meio de uso de água de chuva e de água cinza em um condomínio composto por três blocos de edifícios com quatro pavimentos cada, localizado em Florianópolis (SC). Considerando que a água coletada seria utilizada para descarga do vaso sanitário, lavagem de roupas e atividades de limpeza, a economia de água potável estimada foi de 14,7% a 17,7% se somente o sistema de aproveitamento de água de chuva fosse instalado. A implantação do sistema foi considerada como economicamente viável, pois apresentou tempo de retorno inferior a 8 anos.

Schiettecatte, Helsen e Brauns (2007) realizaram um estudo a respeito da utilização de água de chuva em fábricas. Foram realizadas simulações de potencial de economia de água potável para uma fábrica têxtil, onde a água de chuva coletada seria utilizada para processos de resfriamento e para usos sanitários. Além disso, foi avaliado para diferentes cenários o potencial de economia de água potável e a viabilidade econômica de instalação de sistema de aproveitamento de água de chuva em uma fábrica de eletrônicos. Neste caso, a água seria utilizada para processos de resfriamento, produção de vapor, controle de umidade do salão de produção e usos sanitários.

O uso de água de chuva pode também ser aplicado a situações que demandem baixos volumes de água. Fernandes, Terêncio e Pacheco (2015) projetaram um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma instalação de tratamento de lixo próxima à cidade de Mirandela (Portugal). Nesta situação, a água coletada seria utilizada para lavagem de

veículos e outros equipamentos, limpeza de pisos externos de concreto e asfalto e irrigação de áreas verdes.

Na instalação de tratamento de lixo analisada por Fernandes, Terêncio e Pacheco (2015), para um dos cenários considerados, o consumo estimado foi de 99 m<sup>3</sup> de água por ano e a disponibilidade de água de chuva, que foi obtida considerando a área de captação e os valores de precipitação do local, foi estimada em 630 m<sup>3</sup> de água por ano. Para este mesmo cenário, o volume do reservatório dimensionado para suprir 100% da demanda de água foi de 50 m<sup>3</sup> e o volume ótimo foi calculado em 25 m<sup>3</sup>, o qual supriria 90% da demanda de água. Nesse caso, a demanda de água era muito inferior à disponibilidade de água de chuva, e consequentemente o reservatório necessário para a eficiência do sistema era pequeno, o que é típico de instalações de baixa demanda de água.

Instalações de baixa demanda de água são aquelas cuja razão entre a demanda e a disponibilidade de água é igual ou inferior a 0,8. Fernandes, Terêncio e Pacheco (2015) apontam que para instalações que demandam pequenas quantidades de água, os sistemas de aproveitamento de água mostram-se eficientes mesmo que o volume do reservatório projetado não supra 100% da demanda.

Segundo Moreira Neto et al. (2012) aeroportos são um tipo de infraestrutura que utiliza água diariamente em grande escala, sendo possível comparar o consumo de um aeroporto com o de pequenas e médias cidades, o que evidencia a necessidade de adoção de medidas de economia de água potável nestes locais. Um estudo realizado pelos autores avaliou o consumo de água em um aeroporto de médio porte no Brasil e constatou que aproximadamente 65% da água consumida não exigia potabilidade. A estimativa realizada para um cenário de utilização de água de chuva para suprir parte da demanda por água não potável apresentou valores de eficiência de economia de água potável entre 66 e 100%. O tempo de retorno previsto para o investimento variou entre 3,4 e 23 anos para diferentes volumes e materiais de reservatório.

A implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva e de outras medidas que favorecem a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais disponíveis ainda são pouco utilizadas no setor da construção civil. Segundo Zhang, Wu e Shen (2015), um dos fatores que mais influenciam na tomada de decisões no planejamento de construções é o fator econômico. Por este motivo, a relutância da utilização de água de chuva nesse setor ainda é grande, visto que a instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva exige investimentos iniciais.

Embora o uso de água de chuva não proporcione economia financeira imediata, o valor investido pode ser recuperado ao longo da utilização do sistema, por meio da redução de gastos com água da concessionária. Zhang, Wu e Shen (2015) apontam que é provável que um dos principais motivos da baixa adoção de medidas ambientais que trazem retorno financeiro pelas construtoras é que a economia proporcionada por estas medidas é desfrutada pelos ocupantes dos edifícios e não necessariamente pelo construtor ou pelo cliente que contratou a obra.

### 2.3. Possíveis usos da água de chuva

A água de chuva, após passar por tratamento adequado, pode ser empregada em diversos usos que não exijam sua potabilidade. A NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta algumas possibilidades de utilização de água de chuva, entre elas o uso em vasos sanitários e espelhos d'água ou nas atividades de irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavação de automóveis, limpeza de calçadas, ruas e pátios e também em alguns processos industriais.

A construção civil, por ser uma das atividades listadas entre as maiores consumidoras de água, deve ser lembrada no contexto de aproveitamento de água de chuva. Um dos principais motivos pelos quais a utilização de água de chuva na construção civil deve ser considerada é o fato de que nesta esfera uma grande quantidade de água potável é consumida em atividades que não requerem potabilidade. Dessa forma, ocorre desperdício de água própria para consumo que poderia ser empregada para outros fins, além de implicar em custos desnecessários com tratamento de água e sobrecarregar as estações de tratamento.

Um dos materiais empregados em larga escala na construção é o concreto. Para a fabricação do concreto, é necessário basicamente cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água. Como a quantidade de água consumida diariamente em concreteiras, fábricas de peças de concreto e em canteiros de obra é grande, é importante que haja uma preocupação com o uso consciente deste recurso natural. A fim de reduzir a utilização de água potável para a fabricação de concreto, existem alternativas como a utilização de água de reuso ou água de chuva. Entretanto, ainda existe certo receio entre os profissionais da área a respeito da utilização de água de chuva para fabricação de concreto devido às incertezas relacionadas à qualidade final do produto.

A norma brasileira de água para amassamento do concreto NBR 15900 da ABNT (2009) define que a água de chuva pode ser utilizada em concreto, contanto que seja ensaiada e esteja de acordo com os parâmetros definidos pela mesma norma. Na norma NBR 15900

(ABNT, 2009) é exposto um fluxograma que deve ser seguido para avaliar se determinada fonte de água é apropriada para a utilização no concreto. O fluxograma é apresentado na Figura 2.2 e os requisitos dos ensaios preliminares são apresentados no Quadro 2.1. Os procedimentos de ensaio que devem ser realizados para os ensaios preliminares estão descritos na NBR 15900-3 (ABNT, 2009).

**Quadro 2.1 – Requisitos a serem cumpridos nos ensaios preliminares para a aprovação da água de chuva para amassamento do concreto**

<b>Parâmetro</b>	<b>Requisito</b>
Óleos e gorduras	Não mais do que traços visíveis
Detergentes	Qualquer espuma deve desaparecer em dois minutos
Cor	A cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser amarelo claro a incolor
Material sólido	Máximo de 50 000 mg/L
Odor	Água inodora e sem odor de sulfeto de hidrogênio, após a adição de ácido clorídrico
Ácidos	$\text{pH} \geq 5$
Matéria orgânica	A cor da água deve ser mais clara ou igual à da solução-padrão, após a adição de NaOH

Fonte: Modificado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

Os teores máximos de cloreto definidos pela NBR 15900 (ABNT, 2009) são apresentados na Tabela 2.1 e o procedimento de ensaio deve ser realizado de acordo com a NBR 15900-6 (ABNT, 2009). Os teores máximos podem ser excedidos contanto que se mostre que o teor de cloreto do concreto não ultrapassará o valor máximo definido pela ABNT NBR 12655.

**Tabela 2.1 – Teor máximo de cloreto para aceitação da água para uso no amassamento do concreto**

Uso final	Teor máximo de cloreto (mg/L)
Concreto protendido ou graute	500
Concreto armado	1000
Concreto simples (sem armadura)	4500

Fonte: Modificado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

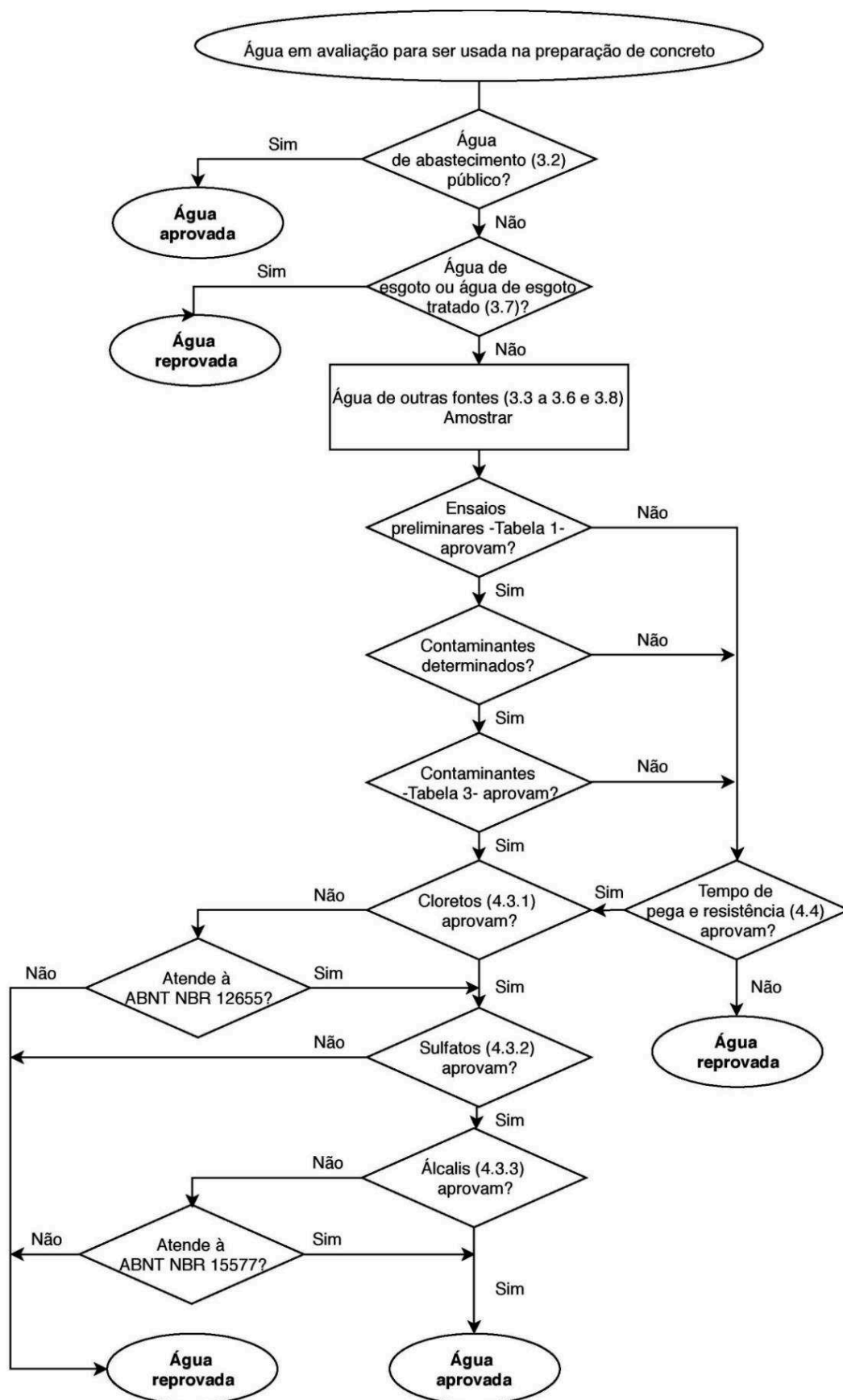
O teor de sulfato na água precisa ser ensaiado de acordo com o procedimento apresentado na NBR 15900-7 (ABNT, 2009). O teor de álcalis deverá ser determinado somente se forem utilizados agregados potencialmente reativos com álcalis na fabricação do concreto. Os teores máximos de sulfatos e álcalis são apresentados na Tabela 2.2. Caso a água não cumpra com o teor máximo de álcalis, ela ainda poderá ser utilizada se forem tomadas precauções quanto à reação álcali-agregado, de acordo com a NBR 15577-1.

**Tabela 2.2 – Teores máximos de sulfato e álcalis para aceitação da água para uso no amassamento do concreto**

Substância	Teor máximo (mg/L)
Sulfato ( $SO_4^{2-}$ )	2000
Álcalis (equivalente alcalino de óxido de sódio)	1500

Fonte: Modificado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

**Figura 2.2 – Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto**



Fonte: Modificado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

A água também deve ser ensaiada quanto à presença de substâncias prejudiciais que podem alterar o tempo de pega e a resistência do concreto. As normas que definem os procedimentos a serem realizados nos ensaios são indicadas na seção 6.2 da NBR 15900-1 (ABNT, 2009) e os teores máximos admitidos são expostos na Tabela 2.3. Caso estes ensaios não sejam realizados ou os limites sejam ultrapassados, devem ser realizados ensaios de tempo de pega inicial e final e de resistência à compressão com amostras de referência e amostras com a água sendo ensaiada. Os tempos de início e fim de pega nas amostras de pasta feitas com a água em ensaio devem estar de acordo com a Norma Brasileira do cimento em uso e não podem ter variação maior do que 25% quando comparados com os tempos das amostras de pastas de referência, confeccionadas com água destilada ou deionizada. Os corpos de prova de concreto ou argamassa elaborados com a água em ensaio devem apresentar resistência média à compressão aos 7 e aos 28 dias maior ou igual a 90% da resistência das amostras realizadas com água destilada ou deionizada. A seção 6.3 da NBR 15900-1 (ABNT, 2009) indica as normas que definem os ensaios a serem realizados para a determinação do tempo de pega e da resistência.

**Tabela 2.3 – Teores máximos de substâncias prejudiciais para aceitação da água para uso no amassamento do concreto**

<b>Substância</b>	<b>Teor máximo (mg/L)</b>
Açúcares	100
Fosfatos, expressos como $P_2O_5$	100
Nitratos, expressos como $NO_3^-$	500
Chumbo, expresso como $Pb^{2+}$	100
Zinco, expresso como $Zn^{2+}$	100

Fonte: Modificado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

Bedoya-Montoya e Medina-Restrepo (2016) realizaram um estudo na Colômbia comparando a qualidade do concreto produzido com a utilização de água potável e de água de chuva. Os autores apontam que na Colômbia, a norma técnica NTC 3459, a qual define as características que a água a ser empregada na fabricação do concreto deve possuir, não indica que a água própria para consumo humano possa ser utilizada sem a necessidade de testes para verificação de suas características. Tampouco a norma define que a água utilizada no concreto deva ser necessariamente potável. Para a comparação da qualidade da água potável e da água



de chuva, os autores instalaram um sistema de captação de água de chuva no campus da *Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia*. A qualidade da água de chuva coletada foi monitorada durante seis meses. A água foi analisada quando o reservatório se apresentava cheio e a água coletada durante os primeiros cinco minutos de cada chuva foi descartada, devido à sua qualidade inferior. A água potável foi coletada diretamente do aqueduto abastecido pela concessionária de água local. Os resultados das análises são apresentados na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4 – Comparação dos parâmetros da água de chuva, água potável e exigências da norma colombiana NTC 3459**

Parâmetro	Água de chuva (mg/L)	Água potável (mg/L)	NTC 3459 (mg/L)
Sulfatos	5,00	12,00	1000
Cloretos	16,30	19,50	1000
Sólidos totais	28,50	32,00	50000
Sólidos dissolvidos	27,00	1,00	2000
Ph	5,10	6,80	$\geq 5$
Turbidez	4,20 NTU	0,10 NTU	NA

Fonte: Modificado e traduzido de Bedoya-Montoya e Medina-Restrepo (2016).

A partir dos parâmetros obtidos na análise dos dois tipos de água, foi possível identificar que ambas estavam aptas para a utilização na confecção de concreto. Foram elaborados corpos de prova de concreto produzidos com água de chuva e com água da concessionária. As amostras foram então submetidas a ensaios de compressão e estes apresentaram os resultados mostrados na Tabela 2.5.

Por meio dos ensaios de compressão das amostras de concreto, não houve nenhum indicativo de que a água de chuva reduziu a resistência do concreto em comparação com as amostras elaboradas com água convencionalmente empregada nas construções. A respeito do concreto fresco, Bedoya-Montoya e Medina-Restrepo (2016) observaram que não houve diferenças perceptíveis quanto ao assentamento, trabalhabilidade e aparência das diferentes amostras.

A NBR 15900 (ABNT, 2009), norma brasileira de água para amassamento do concreto, assim como as normas de outros países, como a Colômbia, permitem a utilização de

água de chuva na confecção do concreto, desde que a mesma seja aprovada nos critérios de qualidade estabelecidos. Entretanto, a utilização de água de chuva na confecção do concreto é um assunto ainda pouco explorado mundialmente e a quantidade de estudos a respeito deste tema ainda é muito escassa.

**Tabela 2.5 – Comparação dos parâmetros da água de chuva, água potável e exigências da norma colombiana NTC 3459**

<b>Idade do Concreto (dias)</b>	<b>Concreto fabricado com água de chuva</b>			<b>Concreto fabricado com água potável</b>		
	<b>Resistência Média à compressão (MPa)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>Resistência Média à compressão (MPa)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
01	7,62	0,39	5,13	7,24	0,14	1,98
03	17,34	0,17	0,95	16,84	0,02	0,10
07	23,06	0,75	3,25	22,76	0,09	0,39
14	24,05	0,18	0,74	24,70	0,13	0,54
28	27,51	0,18	0,64	27,74	0,10	0,38
56	29,18	0,94	3,21	28,75	0,04	0,14
90	34,13	0,44	1,30	33,15	0,98	2,97

Fonte: Modificado e traduzido de Bedoya-Montoya e Medina-Restrepo (2016).

#### 2.4. Qualidade da água de chuva

A qualidade da água proveniente dos sistemas de aproveitamento de água de chuva depende de diversos fatores, como a localização geográfica, os componentes do mecanismo e o tratamento posterior à captação.

O local onde a água é coletada é um importante fator a ser analisado antes de implantar o sistema, pois o volume captado depende dos índices pluviométricos, os quais são muito discrepantes para diferentes regiões. Além disso, os níveis de poluição do ar impactam fortemente na qualidade da água, visto que esta é contaminada por boa parte dos poluentes com os quais tem contato durante os processos de evaporação e precipitação. Por este motivo, a concentração de partículas indesejadas na atmosfera, como por exemplo, metais pesados,

tende a ser mais elevada em regiões onde há atividade humana intensa, como em centros urbanos (MELIDIS et al., 2007).

Somadas à poluição atmosférica, as impurezas presentes nas superfícies dos telhados são outra importante fonte de contaminação da água de chuva coletada. A quantidade de material depositado nestas superfícies aumenta de acordo com o número de dias sem precipitações. Os poluentes começam então a ser carregados pela água assim que ocorre o primeiro evento de chuva. A maior parte da sujeira nas coberturas é transportada nos momentos iniciais da precipitação, portanto, a água coletada no princípio do evento, em geral apresenta níveis de contaminação maiores do que os dos volumes captados posteriormente (CAMPISANO et al., 2017).

De forma a eliminar as impurezas carregadas pela água no início das precipitações, são utilizados sistemas de descarte de escoamento inicial. Estudos realizados por Gikas e Tsihrintzis (2017) mostraram que com a utilização do sistema de descarte de escoamento inicial ocorrem melhoras nas características físico-químicas da água de chuva coletada. Entretanto, Gikas e Tsihrintzis (2012) apontam que o mecanismo não impede que a água armazenada nos reservatórios seja contaminada por micróbios.

Um estudo realizado por Mendez et al. (2011) analisou a qualidade da água de chuva em sistemas de coleta com diferentes materiais de cobertura. Os resultados das análises indicaram que a água coletada de coberturas metálicas apresentou as menores quantidades de coliformes fecais. Os telhados de material metálico são usualmente recomendados em sistemas de aproveitamento de água de chuva, entretanto, Mendez et al. (2011) identificaram que a água coletada de coberturas com telhas de concreto ou com a técnica *cool roof* apresentou índices similares de qualidade quando comparada com a captada de coberturas de metal.

A utilização de coberturas de telha *Shingle* ou de telhados verdes nos sistemas de aproveitamento de água de chuva apresentou amostras com quantidades significativas de carbono orgânico dissolvido. Desta forma, Mendez et al. (2011) sugerem que se a substância de desinfecção adotada for o cloro, o qual não é satisfatoriamente efetivo quando há grandes quantidades de carbono orgânico, sejam utilizadas outras alternativas de material de cobertura.

Santos (2015) realizou um estudo com famílias do município de Serrinha (BA) que possuem cisternas rurais para armazenamento de água de chuva e posterior utilização. Os resultados indicaram que a qualidade da água depende fortemente das práticas de manuseio que são utilizadas. Entre as famílias entrevistadas, grande parte não manipulava a água de

maneira correta, provocando contaminação da mesma. Com relação aos níveis de *E.c* por exemplo, foi possível identificar os menores níveis de concentração em cisternas que foram alimentadas exclusivamente com bomba manual. Padrões comportamentais influenciam diretamente na contaminação da água de chuva que é armazenada, e representam uma barreira difícil de ser rompida. Do total de famílias entrevistadas, 70,8% utilizavam baldes para captação de água, 44,4% misturavam a água de chuva com água de outras fontes, 11,2% não desviavam a primeira água da chuva e 27,8% ainda inseria peixes na água armazenada.

Contudo, o nível de qualidade da água de chuva exigido depende do uso final a que a água coletada se destina. De acordo com o uso final pretendido, deverão ser respeitados os requisitos estabelecidos pelas normas relacionadas. Um exemplo é a Portaria 2.914 (BRASIL, 2011) que estabelece os padrões necessários para a água destinada a consumo humano.

## 2.5. Dimensionamento de reservatórios

O dimensionamento do reservatório de sistemas de aproveitamento de água de chuva precisa ser realizado para cada situação, pois este é altamente dependente da demanda por água potável e da demanda por água de chuva (GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007). Alguns fatores importantes que diferem para cada caso e influenciam fortemente no cálculo do volume do reservatório são a área de cobertura da edificação em questão e os índices pluviométricos do local. Por este motivo, não é possível definir um tamanho de reservatório ideal para construções, mesmo que estas sejam similares.

Existem diferentes métodos que podem ser utilizados para dimensionar reservatórios de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Para a escolha do método a ser adotado devem ser levadas em conta as particularidades de cada caso, em especial as características pluviométricas da região onde o sistema será implantado. Não existe um consenso entre os profissionais da área sobre qual é o melhor método para cálculo de volume de reservatórios, pois cada um foi desenvolvido em diferentes circunstâncias. Por este motivo, o projetista deve avaliar todos os fatores e características da construção e da região em que esta se localiza para que seja definido o método mais adequado.

A escolha adequada do volume do reservatório é de grande importância devido ao valor gasto com a aquisição deste componente ser muito significativo quando comparado com os outros integrantes de um sistema de aproveitamento de água de chuva. A viabilidade econômica da implantação do sistema é, portanto, fortemente dependente do correto dimensionamento do reservatório (MORUZZI et al., 2016).

A NBR 15527 (ABNT, 2007) define que os reservatórios devem ser dimensionados de acordo com critérios técnicos, econômicos e ambientais. A mesma norma apresenta em seu anexo alguns métodos de dimensionamento de reservatório, entretanto, esta não exige que o dimensionamento seja feito por estes métodos, permitindo ao projetista utilizar outro, contanto que esta escolha seja justificada.

A norma NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta em seu anexo A os métodos de Rippl, da Simulação, Azevedo Neto, Prático Alemão, Prático Inglês e Prático Australiano. O método de Rippl considera a demanda de água da edificação, o coeficiente de escoamento superficial da cobertura, a área de captação e os dados pluviométricos da região, podendo ser usadas as séries históricas diárias ou mensais. O método da Simulação considera os mesmos parâmetros que o de Rippl, entretanto, nele aplica-se a equação da continuidade de um reservatório finito.

No método Azevedo Neto, os dados utilizados no cálculo do volume do reservatório são outros. Neste método são necessários a precipitação média anual da região, o número de meses com pouca chuva ou seca e a área de projeção da superfície de coleta.

O quarto método apresentado pela NBR 15527 (ABNT, 2007) é o método Prático Alemão, o qual consiste em um método empírico. Neste método, o volume mínimo do reservatório será 6% do menor destes dois valores: volume anual de precipitação aproveitável e demanda anual de água não potável. O método Prático Inglês desconsidera a demanda de água na edificação, considerando no dimensionamento somente os valores da precipitação média anual e a área de coleta de água de chuva em projeção.

O último método constante na NBR 15527 (ABNT, 2007) é o método Prático Australiano, que é um método iterativo. Ele considera na equação que fornece o volume do reservatório dados a respeito do coeficiente de escoamento superficial, da precipitação média mensal, da interceptação de água e perdas por evaporação, a área de coleta e a demanda mensal de água.

Ghisi e Cordova (2014) desenvolveram o Netuno, um programa computacional que estima o potencial de economia de água potável em sistemas de captação de água de chuva. Os dados de entrada do programa são os dados de precipitação diários, o descarte da precipitação inicial escolhido, a área de captação de água de chuva, a demanda per capita diária e o número de moradores ou usuários da edificação ou a demanda mensal de água do edifício. Além disso, deve ser fornecido o percentual da demanda total que poderá ser suprido por água de chuva, o coeficiente de escoamento superficial do material que compõe a superfície de captação de água e o volume do reservatório superior, caso se deseje implantar

este. Para o volume do reservatório inferior, o usuário do programa pode definir o volume desejado ou optar pela simulação para reservatórios com diversos volumes.

Para o caso de o usuário indicar o volume de reservatório desejado, o programa então fornece dados como o potencial de economia de água potável caso este sistema seja implantado, o percentual de dias em que 100% da demanda de água de chuva é atendida, o percentual de dias em que a demanda é atendida parcialmente e o percentual de dias em que ela não é atendida. O programa Netuno ainda pode fornecer outras informações, como as médias diárias de volume consumido de água de chuva, de volume consumido de água potável, de volume extravasado de água de chuva e de recalques.

Quando o usuário optar por simular o sistema de aproveitamento de água de chuva com diferentes volumes de reservatório inferior, o programa Netuno gera um gráfico que relaciona o potencial de economia de água potável com os volumes de reservatório inferior testados. Além deste, podem ser gerados gráficos de consumo de água de chuva, de volume extravasado e de atendimento da demanda de água de chuva. Para que o programa faça as simulações é necessário que o usuário defina um volume máximo para o reservatório e o intervalo entre os volumes que serão considerados na simulação.

Rezende e Tecedor (2017) desenvolveram uma análise de viabilidade de implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva no Tanque de Provas da Faculdade de Tecnologia de Jahu, no estado de São Paulo. Este Tanque de Provas é utilizado em testes e ensaios de modelos reduzidos de embarcações e a água de chuva coletada se destinaria aos processos de filtragem e lavagem do tanque, assim como para repor a água evaporada. O dimensionamento do reservatório do sistema foi feito por Rezende e Tecedor (2017) por meio dos seis métodos propostos pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Os volumes obtidos para cada método são apresentados na Tabela 2.6.

No caso do tanque da Faculdade de Tecnologia de Jahu, a demanda de água estimada foi de 406 litros/dia, sendo o potencial ideal de economia de 100%. A área de cobertura do telhado, ou seja, a área de coleta da água de chuva, é de 1.063,69 m<sup>2</sup> e o coeficiente de escoamento superficial adotado de 0,8. Os volumes de reservatório calculados por meio método Azevedo Neto e do método Prático Inglês foram desconsiderados, pois estes resultaram em reservatórios de grande capacidade, o que os tornaria inviáveis. O motivo destes elevados volumes calculados foi devido ao fato de estes dois métodos não levarem em conta a demanda de água. O valor de volume obtido por meio do método Prático Australiano foi ainda maior e também foi desconsiderado. Este método leva em conta a demanda de água,

entretanto, Rezende e Tecedor (2017) apontam que o elevado volume calculado é devido ao tamanho da área de cobertura.

**Tabela 2.6 – Volumes dos reservatórios para aproveitamento de água de chuva para uso chuva no Tanque de Provas da Faculdade de Tecnologia de Jahu calculados por meio dos métodos descritos no anexo A da NBR 15527**

<b>Método</b>	<b>Reservatório (m³)</b>
Método de Rippl	13,64
Método da Simulação	5,00
Método Azevedo Neto	130,63
Método Prático Alemão	8,89
Método Prático Inglês	77,76
Método Prático Australiano	665,79

Fonte: Modificado de Rezende e Tecedor (2017).

Os valores de volume de reservatório considerados exequíveis foram os obtidos por meio dos métodos de Rippl, da Simulação e Prático Alemão. Para os três possíveis cenários, os valores dos volumes calculados, assim como outras informações fixas para os três, foram inseridos por Rezende e Tecedor (2017) no programa computacional Netuno. O programa retornou o potencial de utilização de água de chuva para cada uma das situações, além de outras informações, apresentadas na Tabela 2.7.

Para esta situação, o melhor resultado entre os três volumes analisados foi o volume obtido pelo método de Rippl, que proporcionaria uma economia anual de 93,26% de água potável. Rezende e Tecedor (2017) avaliaram a economia de água potável menor do que 100% satisfatória, pois a região em estudo apresenta um período seco de aproximadamente três meses durante o ano, não sendo tão favorável ao aproveitamento de água de chuva.

Rupp, Munarim e Ghisi (2011) calcularam volumes de reservatório de água de chuva para residências em três cidades brasileiras, as quais apresentam características de precipitação diferentes. As cidades escolhidas foram Palhoça, Santana do Ipanema e Santos. Para cada uma das cidades, foram calculados volumes de reservatório por meio da aplicação dos métodos de dimensionamento sugeridos na NBR 15527 (ABNT, 2007). Foram considerados diferentes cenários para cada cidade escolhida, variando-se a área de captação, a demanda de água potável e a demanda de água de chuva. Os volumes calculados e as

características do respectivo cenário considerado foram simulados no programa computacional Netuno, que retornou os potenciais de economia de água potável.

**Tabela 2.7 – Cenários do sistema de aproveitamento de água de chuva para uso chuva no Tanque de Provas da Faculdade de Tecnologia de Jahu simulados pelo programa computacional Netuno**

<b>Parâmetro</b>	<b>Método de Rippl</b>	<b>Método da Simulação</b>	<b>Método Prático</b>
<b>Potencial de utilização de água de chuva (%)</b>	93,26	77,89	87,15
<b>Volume consumido água de chuva (m<sup>3</sup>)</b>	138,20	115,42	129,15
<b>Volume consumido água potável (m<sup>3</sup>)</b>	9,99	32,77	19,04
<b>Volume extravasado (m<sup>3</sup>)</b>	1.092,13	1.098,53	1.094,25
<b>Dias de Atendimento completo (%)</b>	93,04	77,50	86,63
<b>Dias de Atendimento parcial (%)</b>	0,49	1,74	0,76
<b>Dias Sem atendimento (%)</b>	6,47	20,76	12,61
<b>Atendimento no mês crítico (%)</b>	62,58	23,23	40,00

Fonte: Modificado de Rezende e Tecedor (2017).

Os métodos utilizados nas análises foram o de Rippl, da Simulação, Prático Alemão, Prático Australiano, Prático Inglês e de Azevedo Neto. Um problema identificado nos métodos de Rippl, da Simulação e Prático Australiano, é que eles não podem ser utilizados para qualquer situação. O método de Rippl só pode ser aplicado em casos onde, em algum momento do período em análise, o volume de água captada é inferior à demanda de água de chuva. O método da Simulação tem uma limitação semelhante, sendo que neste método ainda deve ser considerado o volume do reservatório cheio no início da contagem do tempo. Outro método com uma limitação deste tipo é o Prático Australiano, que só pode ser aplicado nos casos em que, para algum período, a demanda de água de chuva é superior ao volume mensal de água de chuva (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Uma limitação dos métodos de Azevedo Neto e Prático inglês é que estes desconsideram a demanda de água de chuva, variando os volumes de reservatório calculados por meio desses métodos somente de acordo com a precipitação. Apesar de os volumes calculados por meio dos métodos de Rippl, da Simulação, Prático Alemão e Prático Australiano aumentarem quando a demanda de água de chuva considerada é maior, o



potencial de economia de água potável não é necessariamente alterado. Comparando-se os volumes obtidos por meio dos métodos de Rippl, da Simulação e Azevedo Neto com o melhor volume para cada caso analisado, foi possível perceber que esses métodos forneceram resultados de reservatórios maiores do que o necessário, e ainda que esse superdimensionamento não resultou em um potencial de economia de água potável maior (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Para índices pluviométricos altos, os volumes calculados por meio do método Prático Inglês foram superdimensionados. Quando os índices pluviométricos eram baixos, os métodos Prático Inglês e Prático Alemão forneceram reservatórios subdimensionados. Além disso, quando foi possível utilizar o método Prático Australiano, os volumes calculados por meio desse método também forneceram resultados subdimensionados (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Os métodos apresentados na NBR 15527 (ABNT, 2007) foram avaliados por Rupp, Munarim e Ghisi (2011) como inadequados para dimensionamento de reservatório nos casos analisados. Rupp, Munarim e Ghisi (2011) apontam que o potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório de água de chuva só é obtido por meio do programa Netuno, não sendo fornecido por nenhum dos métodos sugeridos na NBR 15527 (ABNT, 2007). Diferente dos outros métodos, o dimensionamento de reservatório realizado por meio do programa computacional Netuno forneceu resultados que se adaptaram à demanda de água de chuva e ao regime de precipitação de cada caso simulado. Desta forma, o dimensionamento feito pelo Netuno foi considerado por Rupp, Munarim e Ghisi (2011) como o mais adequado e aplicável à realidade.

Lopes e Miranda (2016) compararam três métodos de dimensionamento de reservatório por meio do cálculo do volume do reservatório necessário para a implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva em residências de três diferentes cidades do Brasil. As cidades escolhidas para o estudo foram Belo Horizonte (MG), Recife (PE) e Rio Branco (AC), as quais possuem diferentes características de regimes pluviométricos. Os métodos escolhidos foram o método da Simulação, o método Prático Inglês e o programa Netuno.

A dispersão dos valores de volume obtidos por Lopes e Miranda (2016) pelos três métodos foi grande, sendo mais perceptível para Belo Horizonte, que é a cidade entre as três analisadas que apresenta maiores períodos secos durante o ano e menos evidente para o Recife, que possui valores mínimos de precipitação média mensal superiores aos das outras duas cidades. Para a cidade de Belo Horizonte, o volume do reservatório obtido pelo método

da simulação foi de 31.000 L, pelo método prático inglês foi de 1.200 L e pelo Netuno de 8.000 L. Por outro lado, os volumes de reservatório obtidos para a cidade de Recife tiveram diferenças menores entre si, tendo como resultado um volume de 7.000 L pelo método da simulação, de 1.700 L pelo método prático inglês e 4.500 L pelo Netuno. Para a cidade de Rio Branco, os volumes de reservatório calculados por meio do método da simulação, do método prático inglês e pelo Netuno foram respectivamente de 12.000 L, 1.500 L e 5.500 L.

O método Prático Inglês, que resultou em volumes de reservatório menores para todas as cidades, considera somente os valores locais de precipitação anual e a área de captação de água de chuva. Lopes e Miranda (2016) apontam, portanto, que este método é inadequado para regiões com precipitações mensais muito variáveis. O método Prático Inglês é somente indicado para locais onde as médias mensais de precipitação são similares, como, por exemplo, casos onde o regime pluviométrico é similar ao da Inglaterra (local onde o método foi desenvolvido) apresentando variações menores nas precipitações ao longo do ano.

Os maiores valores obtidos para os volumes dos reservatórios foram aqueles calculados pelo método da Simulação. Lopes e Miranda (2016) observam que este método resulta em volumes mais discrepantes em relação aos outros métodos, em especial na cidade de Belo Horizonte, a qual apresenta alguns meses consecutivos no ano com precipitação média muito baixa. Os meses de maio a setembro apresentaram precipitação média inferior a 50 mm, portanto, Lopes e Miranda (2016) concluem que os volumes elevados de reservatório obtidos por este método são justificados por ele levar em consideração as precipitações médias mensais, e não somente a anual. O método da Simulação tenta, portanto, compensar estes meses com pouca chuva acumulando grandes volumes de água nos meses mais chuvosos.

Os volumes de reservatório calculados por Lopes e Miranda (2016) com o uso do programa Netuno apresentaram valores intermediários. Diferente do método Prático Inglês e do método da Simulação, o programa computacional Netuno considera o potencial de economia de água potável desejado. Portanto, o potencial de economia de água potável varia de acordo com o volume escolhido para o reservatório inferior.

Uma análise realizada por Santos e Taveira-Pinto (2013) comparou métodos simplificados e métodos detalhados de dimensionamento de reservatório de sistemas de captação de água de chuva. Os volumes calculados pelos métodos simplificados e pelos detalhados variaram bastante. Para a residência analisada, os volumes de reservatório calculados pelos dois métodos simplificados utilizados foram de 5,5 m<sup>3</sup> e 9,5 m<sup>3</sup> e os volumes calculados pelos quatro métodos detalhados de dimensionamento variaram entre 51,5 m<sup>3</sup> e

179,5 m<sup>3</sup>. Para o edifício público, foram calculados valores de reservatório de 200,0 m<sup>3</sup> e 290,0 m<sup>3</sup> por meio dos métodos simplificados e valores de 50,0 m<sup>3</sup>, 65 m<sup>3</sup> e 560,0 m<sup>3</sup> por meio dos métodos detalhados, sendo o volume de 560,0 m<sup>3</sup> obtido para dois métodos. Santos e Taveira-Pinto (2013) apontam que métodos detalhados são mais recomendados pelo fato de estes considerarem situações mais realísticas, pois consideram um número maior de fatores.

Santos e Taveira-Pinto (2013) avaliaram que cenários onde o potencial de economia de água potável é máximo (100%), e consequentemente o volume do reservatório calculado é maior, podem não ser os mais vantajosos para determinadas situações. Isso se deve à possibilidade de o custo para instalação de um reservatório maior ser superior à economia financeira que este aumento de volume traz. Nestes casos, reservatórios que proporcionam economia de 80%, por exemplo, podem ser mais viáveis economicamente.

## 2.6. Considerações finais

Este capítulo apresentou justificativas para a preocupação com o uso racional da água, em especial nas atividades ligadas à construção civil. Foram apresentadas possibilidades de economia de água potável por meio da utilização de água de chuva. A substituição do consumo de água potável pelo consumo de água de chuva, que pode ser coletada na própria edificação, traz benefícios ambientais e pode também trazer benefícios econômicos. A água de chuva pode inclusive ser utilizada para a fabricação de concreto, contanto que atenda aos requisitos estabelecidos pelas normas relacionadas.

Embora a água de chuva possa substituir a água potável em situações que não requerem potabilidade, ela precisa passar por um tratamento prévio. A água de chuva pode inclusive ser utilizada como água potável, entretanto, isso requer mais processos de tratamento e controle muito maior para garantir sua potabilidade. Para garantir que a água chegue aos pontos de utilização com a qualidade adequada, devem ser avaliados os materiais componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva para que estes não sejam prejudiciais. Algumas considerações a respeito de materiais para utilizar na cobertura das edificações com captação de água de chuva foram expostas neste capítulo.

Outro importante componente dos sistemas de aproveitamento de água de chuva é o reservatório, o qual precisa ser corretamente dimensionado de forma a proporcionar um sistema economicamente viável. Diversos métodos podem ser utilizados para o dimensionamento do mesmo, portanto, é importante compreender as características e limitações dos métodos disponíveis para que se escolha o mais adequado.

As informações neste capítulo são importantes, pois servem de base para as análises que serão feitas nos próximos capítulos. O estudo de diferentes métodos de resolução de problemas, assim como a leitura crítica de resultados de pesquisadores é essencial para a tomada de decisões e para que as análises sejam feitas de maneira correta e fundamentada.

### 3. Método

Neste capítulo será descrito o método utilizado para a realização deste trabalho. Serão apresentados a área de estudo, o objeto de estudo, o levantamento de dados necessário para as análises, o potencial de economia de água potável com a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, a análise econômica da implantação do sistema e os requisitos de qualidade da água para que a mesma seja utilizada para os fins pretendidos.

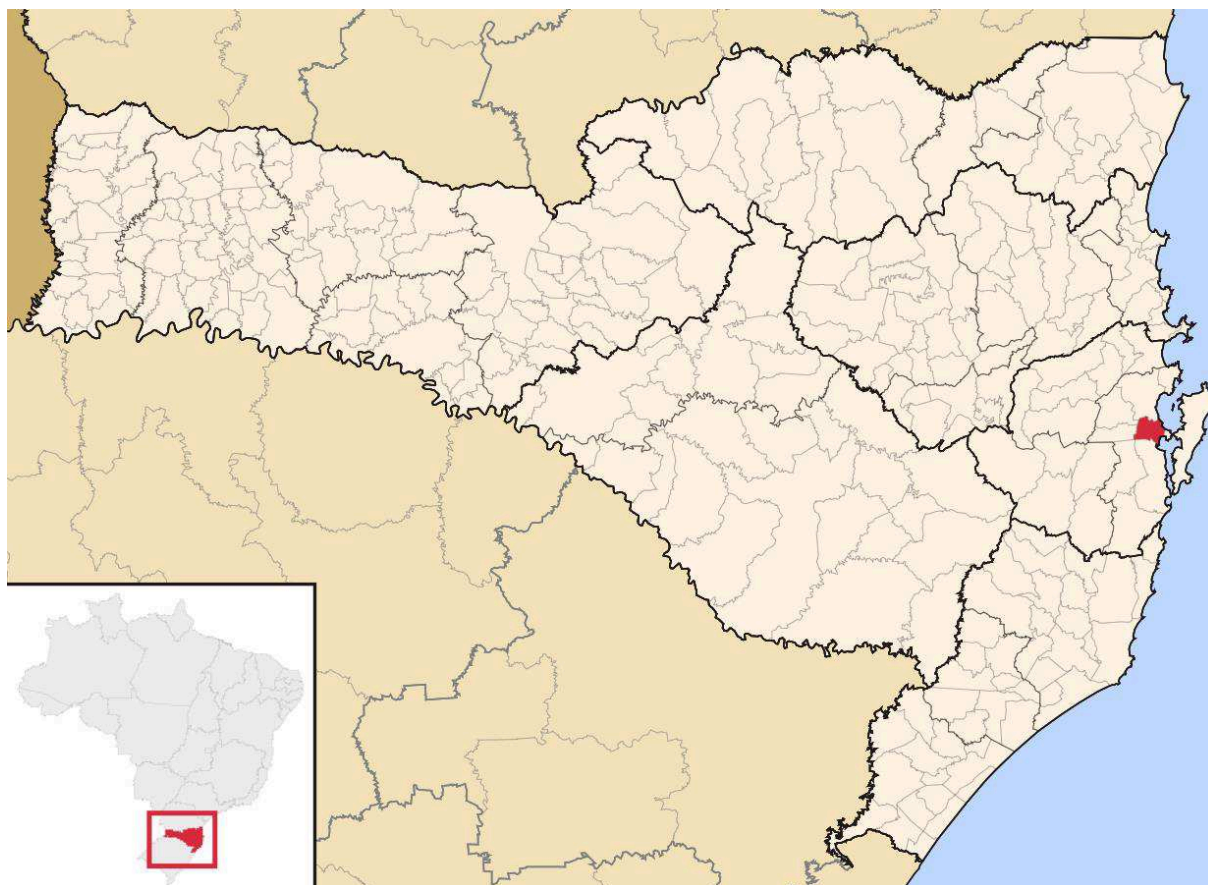
Para verificar o potencial de economia de água potável por meio de implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva em uma fábrica de pré-moldados, foi adotado um método para desenvolver o trabalho e alcançar os resultados finais. Esse método consiste em caracterizar o objeto de estudo, fazer um levantamento dos usos finais de água, estimar o volume dos reservatórios, verificar o potencial de economia obtido com a implantação do sistema e fazer uma análise econômica.

Primeiramente, foi feita a descrição da área de estudo, contemplando sua localização geográfica e demais informações. Depois disso, o objeto de estudo foi descrito, caracterizando os usos finais da água no mesmo. Em sequência, são apresentados os levantamentos de dados necessários para alcançar os objetivos pretendidos e são descritos os métodos utilizados para a obtenção dos mesmos, sendo eles: dados pluviométricos, consumo de água atual, demanda futura de água potável e não potável, área de captação de água de chuva e coeficientes de escoamento superficial das coberturas. Também é apresentado o método utilizado para a estimativa do potencial de economia de água potável por meio de uso de água de chuva. O uso de água de chuva foi considerado nas atividades de confecção de concreto, corte de peças de concreto e limpeza de pistas. Por fim, são expostos os métodos utilizados para a realização da análise econômica da implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva e para a verificação da adequabilidade da água coletada em relação aos usos finais pretendidos.

#### 3.1. Área de estudo

A área de estudo analisada neste trabalho localiza-se no bairro Fazenda Santo Antônio, no município de São José, estado de Santa Catarina. O município de São José está localizado no litoral do estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil e possui área territorial de 150,45 km<sup>2</sup> e população estimada em 2017 de 242.927 habitantes (IBGE, 2018). A localização do município no estado é apresentada na Figura 3.1.

**Figura 3.1 – Localização do município de São José**



Fonte: Wikipedia (2018)

### 3.2. Objeto de estudo

Como objeto de estudo deste trabalho, foi escolhida uma fábrica de peças pré-moldadas de concreto localizada na Rua Frederico Afonso, bairro Fazenda Santo Antônio, no município de São José. A localização da fábrica é apresentada na Figura 3.2.

A fábrica possui 65 empregados atualmente e produz peças de concreto diversas, que demandam a utilização de valores próximos dos 15.000 L de água por dia. A água necessária para confecção das peças em questão não requer potabilidade, entretanto, deverá cumprir com os critérios estabelecidos pela norma de água para amassamento de concreto NBR 15900 (ABNT, 2009).

**Figura 3.2 – Localização da fábrica no bairro Fazenda Santo Antônio**



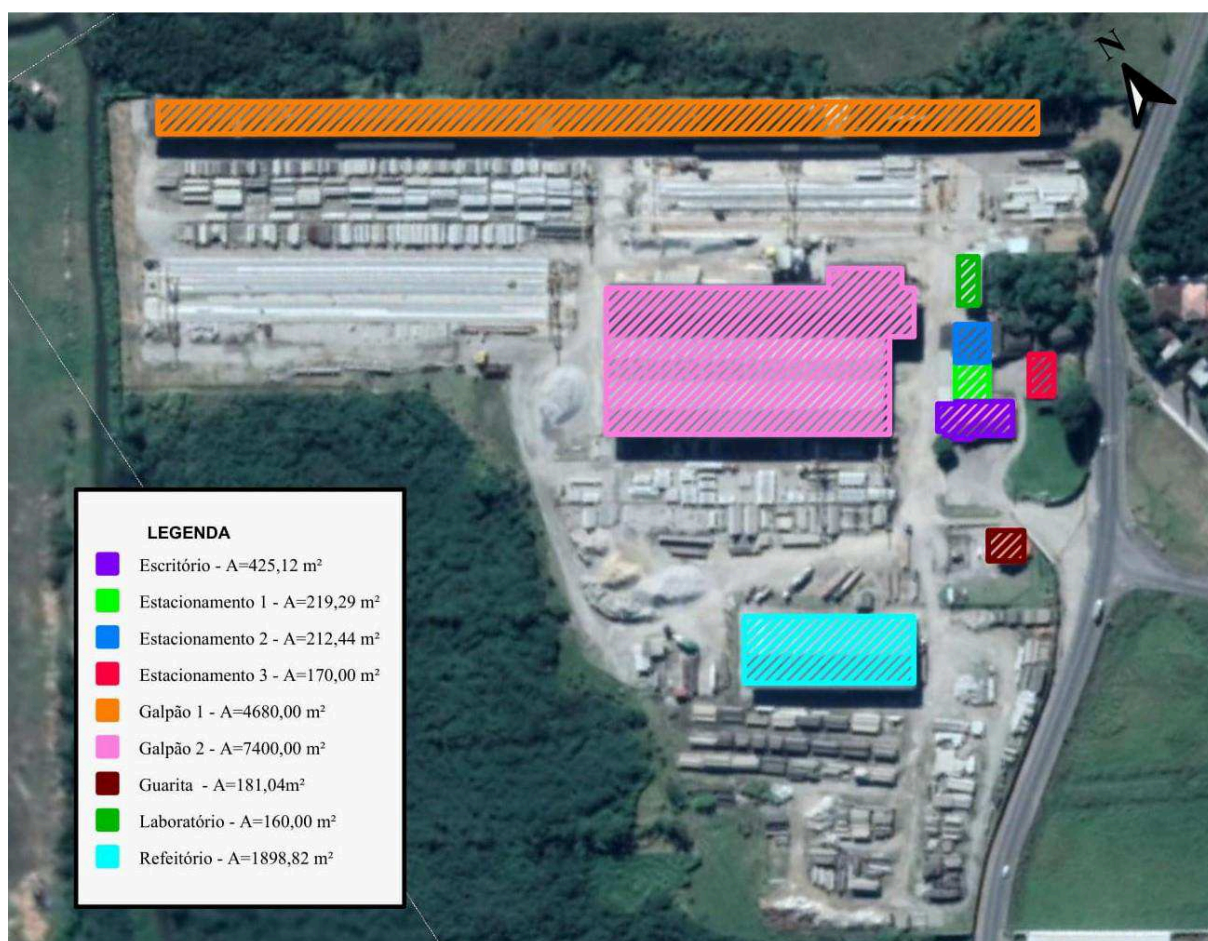
Fonte: Imagem do Google Earth gerada pelo autor (2018)

O terreno onde a fábrica se localiza apresenta dois grandes galpões, escritório, guarita, laboratório, refeitório e três áreas cobertas de estacionamento. As dimensões das coberturas destes elementos foram obtidas por meio dos projetos fornecidos pela empresa, com exceção das coberturas do escritório e da guarita, cujas dimensões foram obtidas *in loco*.

A soma das áreas das projeções horizontais destas coberturas totaliza 15.346,71 m<sup>2</sup>. A área de cada uma das coberturas citadas, assim como sua localização no *layout* da fábrica são apresentadas na Figura 3.3.



**Figura 3.3 – Layout das coberturas da fábrica e respectivas áreas**



Fonte: Imagem do Google Earth gerada pelo autor (2018)

### 3.3. Levantamento de dados

Para a execução das análises pretendidas neste trabalho, é necessário o levantamento de alguns dados. Entre eles, é necessário o levantamento dos dados históricos de precipitação no local. Além disso, é necessária a determinação da demanda de água da fábrica e também a divisão dessa demanda em duas categorias, sendo a primeira a demanda que requer água potável e a segunda, que não requer potabilidade, podendo, portanto ser utilizada água de chuva para suprir toda ou parte desta demanda. Além disso, outros dados essenciais para a obtenção do potencial de economia de água potável são a obtenção das áreas das coberturas onde será coletada água de chuva e dos coeficientes de escoamento das mesmas.



### 3.3.1. Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos da região devem ser obtidos de estações meteorológicas que podem ser tanto convencionais quanto automáticas. É importante que sejam obtidos dados da estação pluviométrica que estiver mais próxima da área de estudo, de forma que os dados utilizados nas análises representem de forma mais fiel possível o regime pluviométrico da área.

Os dados de precipitação utilizados neste trabalho foram obtidos das séries históricas disponibilizadas pelo INMET (2018) no BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa). Para ter acesso aos dados para fins acadêmicos foi necessário realizar um cadastro no site do INMET, informando os dados pessoais do usuário, a instituição de ensino e a área de aplicação dos dados que seriam obtidos. Após a realização do cadastro, com as informações de *login* criadas, foi possível acessar o BDMEP pelo site do INMET. Depois disso, foi necessário informar quais dados eram desejados, que nesse caso eram os dados de precipitação em base diária, e o período de medição dos mesmos. O site então apresentava um mapa do Brasil com a localização das estações meteorológicas que dispunham do tipo de dado selecionado. A partir do mapa foi possível identificar a estação meteorológica mais próxima da área de estudo deste trabalho e, ao selecioná-la, os dados de precipitação puderam ser baixados em um arquivo de texto contendo os dados separados por ponto e vírgula.

Os dados pluviométricos da região em estudo são de extrema importância, pois eles serão inseridos no programa computacional Netuno para o cálculo das estimativas de economia de água potável após implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva. Os dados pluviométricos utilizados neste trabalho foram obtidos da estação do INMET localizada no bairro Praia Comprida, no município de São José, de coordenadas 27,6025° S e 48,620278° W. Esta estação foi escolhida, pois se encontra a aproximadamente 3,5 km da fábrica e está operando desde o ano de 1921.

### 3.3.2. Consumo atual de água

Não foi possível obter o consumo total de água na fábrica com exatidão, pois na mesma é utilizada somente água coletada do poço artesiano presente no local, e não há controle da quantidade de água que é bombeada diariamente ou mensalmente. Por este motivo, o consumo de água na fábrica foi estimado. Para obtenção do consumo de água na fábrica, foi levantado o número de empregados e foram listadas as atividades desempenhadas

na empresa que apresentam consumo de água significativo em relação ao consumo total. Para cada atividade, foi estimado o consumo de água por unidade (repetições, m<sup>3</sup>, etc.) e foram obtidas as quantidades de repetições dos processos e os volumes de concreto confeccionado nos relatórios mensais que a empresa realiza.

As principais atividades consumidoras de água na fábrica são a de produção de peças de concreto, de corte de peças e limpeza das pistas e o consumo humano. Como o ritmo de produção de peças varia ao longo do ano, sendo dependente em parte da demanda dos clientes, mas principalmente do planejamento da empresa, visto que muitas peças são produzidas para estoque, foi estimado o consumo total de água para cada mês do ano.

A empresa forneceu o volume mensal de concreto produzido para a confecção de cada tipo de peça no período entre agosto de 2017 e julho de 2018. Com o volume de concreto por tipo de peça e o traço utilizado para cada uma das peças, que indica a quantidade de água por volume de concreto, foi possível estimar o consumo mensal de água para a produção das diversas peças de concreto. Entre as peças produzidas, podem ser citadas: estacas, galerias, peças pré-moldadas, vigotas, lajes alveolares, vigas de ponte I e estacas centrifugadas.

A estimativa da quantidade de água utilizada para as atividades de corte e limpeza de pistas foi realizada com base no consumo médio de água por unidade produzida de peças como estacas, vigotas e lajes alveolares. Com a quantidade de peças de cada tipo que foram produzidas no mês e o consumo médio para a atividade de corte de peças e limpeza de pistas, foi possível estimar o gasto de água mensal com estas atividades.

Para a estimativa do consumo humano mensal de água foi considerado que houve consumo humano somente nos dias úteis do mês, pois a fábrica não opera nos finais de semana e feriados, e utilizou-se um valor médio de consumo de 32 L/pessoa/dia. Esse valor foi obtido de um estudo realizado por Kammers e Ghisi (2006) que estimou o consumo de água per capita em dez edifícios públicos localizados na cidade de Florianópolis (SC). Dentre os edifícios analisados, um deles apresentou problemas no hidrômetro e dois deles possuíam torre de resfriamento, resultando em estimativas de consumo abaixo da média para o primeiro caso e acima da média para os outros dois. Dessa forma, o valor de consumo per capita considerado nesse trabalho, de 32 litros/dia/pessoa, foi obtido realizando-se a média dos sete edifícios que apresentaram valores de consumo entre 28,0 e 39,8 litros/dia/pessoa. A escolha de utilizar valores de consumo per capita de edifícios públicos ao invés de valores de consumo em canteiros de obra ou fábricas se justifica, pois, embora existam chuveiros na fábrica, os empregados raramente os utilizam, e, além disso, não há preparação de alimentos

na fábrica. Dessa forma, a utilização de água para uso pessoal compreende o uso dos bebedouros, lavatórios, vasos sanitários e ocasionalmente dos chuveiros.

O volume estimado de água consumida mensalmente foi dividido entre os dias úteis de cada mês. Isso se deve ao fato de a empresa somente operar durante os dias úteis do ano. Dessa forma, para cada mês do ano foi considerado um consumo diário de água diferente, visto que a produção de peças varia de acordo com a época do ano.

### 3.3.3. Demanda de água de chuva

Atualmente a fábrica utiliza água do poço artesiano localizado no terreno. Entretanto, o poço está sendo utilizado próximo de sua capacidade máxima, e por isso, caso o consumo de água aumente em relação ao consumo atual, seria necessário utilizar água da concessionária local (CASAN), provocando gastos. Como a diretoria da empresa deseja duplicar a produção mensal de peças, demandando uma quantidade de água superior à disponível no poço, será considerado que a demanda de água futura é o dobro do consumo atual.

A quantidade de água do poço disponível para utilização varia de acordo com o regime de chuvas no período e também devido a outros fatores ambientais. Dessa forma, em diferentes épocas do ano, a quantidade disponível de água por dia é diferente. Por esse motivo, será considerado para este trabalho um valor médio de quantidade de água disponível no poço por dia. O valor médio do limite de exploração diária do poço foi considerado como 14.000 L. Esse valor foi fornecido pela empresa, que o obteve ao longo dos anos em que o poço artesiano vem sendo explorado. Portanto, a demanda de água de chuva considerada foi a quantidade de água da demanda futura (dobro do consumo atual) que excede o limite médio de exploração do poço. Assim, para os dias em que a demanda futura for inferior a 14.000 L, não haverá demanda de água de chuva. Para os dias em que a demanda futura superar o limite médio de exploração de água, a demanda de água de chuva será a demanda futura subtraindo-se 14.000 L. Optou-se por priorizar a utilização da água do poço artesiano, pois a mesma não acarreta custos para obtenção, somente os custos com energia para bombeamento. Caso fosse considerada a demanda futura total como a demanda de água de chuva, possivelmente o reservatório de água de chuva seria superdimensionado, provocando custos elevados e desnecessários.

### 3.3.4. Coeficientes de escoamento superficial da cobertura

O coeficiente de escoamento superficial representa o percentual da água que incide sobre as coberturas que é efetivamente coletada e destinada aos reservatórios. O coeficiente considera perdas de água por evaporação e absorção da superfície de cobertura. As coberturas da fábrica cujas áreas foram consideradas são constituídas de diferentes materiais, como telhas cerâmicas, esmaltadas e metálicas. Tomaz (2010) apresenta valores médios de coeficiente de escoamento superficial entre 0,8 e 0,9 para telhas cerâmicas, entre 0,9 e 0,95 para telhas esmaltadas e entre 0,8 e 0,9 para telhas corrugadas de metal. A NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta o valor de coeficiente de escoamento superficial de 0,8 como o normalmente usado. Por este motivo, foi adotado o valor médio de 0,8 para o coeficiente de escoamento superficial das coberturas da fábrica.

### 3.4. Potencial de economia de água

O potencial de economia de água potável por meio de implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva foi estimado utilizando o programa computacional Netuno 4 (GHISI; CORDOVA, 2014). O potencial de economia estimado refere-se à economia de água potável proveniente da concessionária local (CASAN), visto que não é almejada a economia de água captada do poço artesiano pela diretoria da empresa. Para a estimativa do potencial de economia de água potável da concessionária por meio da utilização do programa Netuno, foi necessário fornecer ao programa os dados históricos de precipitação da região em base diária. Também foi necessário informar a data inicial de medição dos dados de precipitação, o descarte de escoamento inicial desejado e a área de captação da água de chuva, que no caso deste trabalho é a soma das áreas das coberturas. Além disso, entre os dados de entrada do programa Netuno são necessários a demanda total de água, o número de moradores, o percentual da demanda total que pode ser substituído por água de chuva e o coeficiente de escoamento superficial das coberturas.

O programa ainda solicita ao usuário o volume do reservatório superior considerado, caso se escolha utilizar reservatório superior, e o volume ou percentual do volume do reservatório superior para qual há recalque de água. A simulação pode então ser feita indicando um volume de reservatório inferior desejado, ou para diversos volumes. Para o segundo caso, deve ser indicado o volume máximo de reservatório desejado e o intervalo entre os volumes que serão testados. Para o caso onde se opta por simular o potencial de

economia de água para reservatórios com diferentes volumes, deve-se informar o programa se a indicação do volume ideal de reservatório inferior é desejada. Caso se deseje que o programa indique o volume de reservatório inferior ideal, deve ser inserido o valor expresso em  $\%/m^3$  de diferença entre potenciais de economia de água potável. Ou seja, o programa apresenta para cada volume de reservatório simulado, em ordem crescente, o potencial de economia de água potável. O volume ideal de reservatório informado pelo programa será aquele que possuir menor valor e apresentar diferença entre potencial de economia de água potável inferior ao valor indicado pelo usuário quando comparado com o volume de reservatório testado anteriormente.

Após a inserção dos dados de entrada solicitados, é possível realizar a simulação do potencial de economia de água. Se for indicado ao programa um volume de reservatório inferior, o programa Netuno fornece, para aquele volume, o potencial de utilização de água de chuva e o percentual de dias no ano em que a demanda de água de chuva é atendida completamente, parcialmente e não é atendida. Caso se tenha optado por realizar a simulação para diferentes volumes de reservatório inferior, o programa fornece, para cada volume de reservatório testado, em forma tabelada e gráfica, o potencial de economia de água potável, o volume consumido de água de chuva, o volume extravasado de água de chuva no reservatório e o percentual de dias em que a demanda de água de chuva é atendida completamente, parcialmente e não é atendida. Além disso, são fornecidos em forma tabelada o volume consumido de água potável e a diferença entre potenciais de atendimento de água de chuva para cada volume de reservatório simulado.

A fábrica apresenta diversas coberturas, sendo que a maior parte delas não possui calhas, condutores verticais ou horizontais instalados. Além disso, a distância entre algumas das coberturas e o local escolhido para o posicionamento da caixa d'água é elevada e o diâmetro necessário para os condutores horizontais é grande. Dessa forma, o custo para instalação de calhas, condutores verticais e horizontais, que levariam a água coletada até o reservatório de água de chuva, em todas as coberturas existentes poderia ser muito elevado. Por este motivo, foram simulados três cenários de implantação do sistema. No primeiro cenário, foi considerada a captação de água de chuva de todas as coberturas identificadas na Figura 3.3, no segundo cenário foram consideradas todas as coberturas com exceção dos galpões 1 e 2 e no terceiro cenário foram consideradas todas as coberturas com exceção do galpão 1 e refeitório.

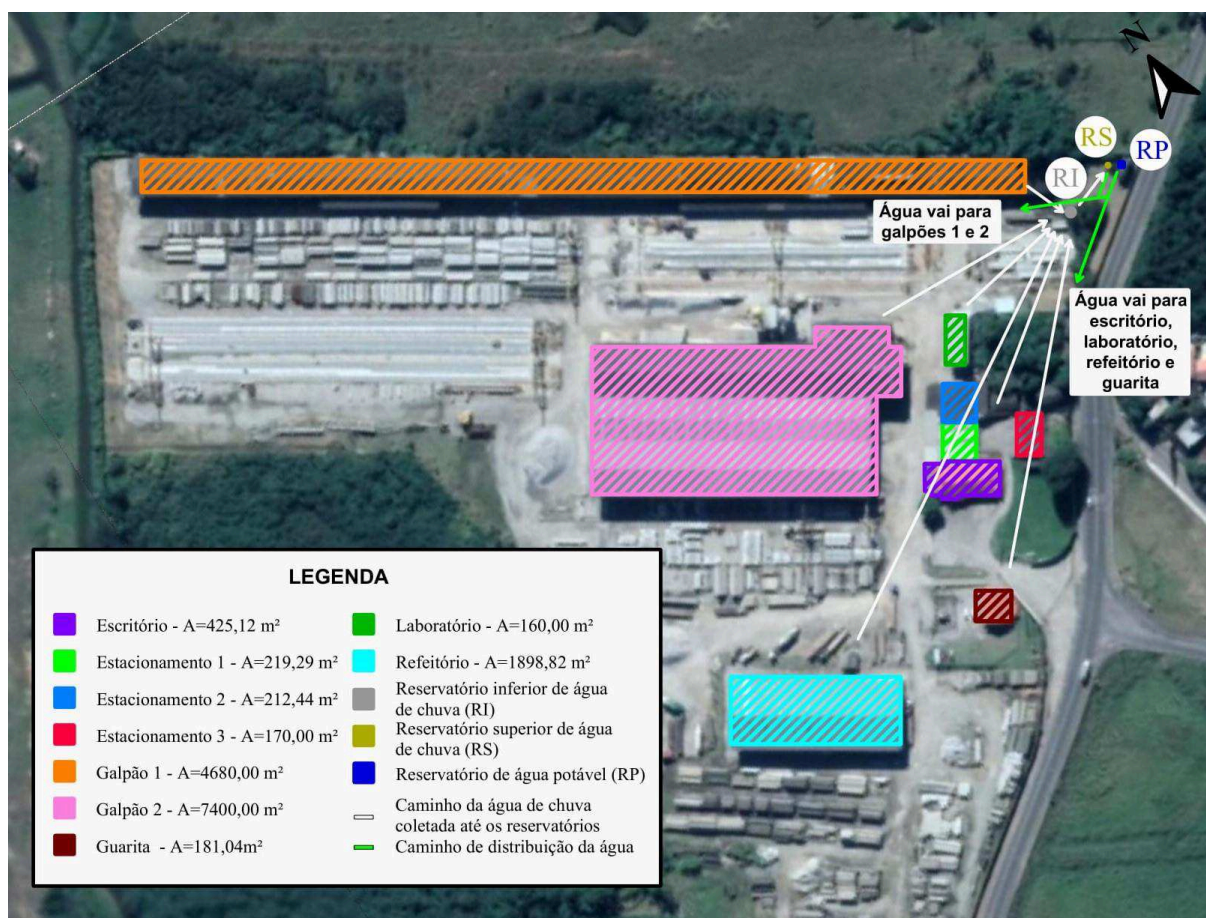
### 3.5. Análise econômica

Para a análise econômica da implantação dos sistemas propostos nos três diferentes cenários e verificação da viabilidade econômica da instalação dos mesmos, foi estimada a quantidade e diâmetros necessários de calhas, tubulação, conexões, caixas d'água e demais acessórios, como válvulas solenoide, boias de nível, suportes para calhas, entre outros. Foi analisado para cada cobertura considerada para a captação de água de chuva se ali já existiam calhas e coletores verticais. Para os locais onde já existia, foi considerada a tubulação que leva a água coletada até o reservatório e para os locais onde não existem calhas ou coletores verticais, foi considerada a compra e instalação destes aparelhos. As coberturas do escritório e estacionamento 3 estão equipadas com calhas, condutores verticais e demais acessórios em todas suas extensões e as coberturas do estacionamento 1 e do galpão 2 estão equipadas em parte de suas extensões. As demais coberturas não possuem calhas ou quaisquer outros dispositivos de coleta de água de chuva instalados.

Para o cálculo das tubulações e conexões necessárias, considerou-se a instalação de um reservatório inferior e um reservatório superior nos locais indicados na Figura 3.4. Dessa forma, a água coletada nas coberturas será direcionada ao reservatório inferior, e a água armazenada no mesmo será bombeada para o reservatório superior, permitindo assim a distribuição da água por gravidade. A água da concessionária será futuramente armazenada no mesmo reservatório de armazenamento da água coletada do poço artesiano.

Conforme informações fornecidas pela empresa, a tubulação que sai da caixa d'água existente se ramifica, alimentando os pontos de utilização dos galpões 1 e 2 em uma de suas ramificações e as demais construções em sua outra ramificação. As atividades de confecção do concreto, limpeza e corte de pistas são realizadas nos galpões 1 e 2, ou em suas proximidades, e não há nestes locais pontos de consumo humano de água. Portanto, foi considerado que a água de coleta da chuva seria misturada à água que vem do reservatório de água potável, a partir do ponto em que a tubulação só alimente pontos de utilização que não requerem potabilidade da água. O esquema do traçado das tubulações é apresentado na Figura 3.4.

**Figura 3.4 – Posicionamento das caixas d'água e traçado das tubulações**



Fonte: Imagem do Google Earth gerada pelo autor (2018)

Neste modelo, foi considerada como prioridade a utilização da água de chuva. Foi prevista a instalação de boias de nível no reservatório superior de água de chuva e no reservatório de água potável, de uma válvula solenoide na tubulação de saída do reservatório superior de água de chuva e de uma válvula solenoide na tubulação que sai do reservatório de água potável e alimenta os pontos de uso dos galpões 1 e 2. Ambas as válvulas devem ser instaladas em pontos da tubulação anteriores à junção das tubulações de água de chuva e água potável. Nesse sistema, a válvula solenoide instalada na tubulação de saída do reservatório de água de chuva permanece aberta e a instalada na tubulação de água potável permanece fechada enquanto o nível de água do reservatório superior de água de chuva for superior a 5% de seu volume. A partir do momento em que o nível do reservatório superior de água de chuva for menor do que 5% de seu volume, a válvula solenoide que estava aberta se fecha e a que estava fechada se abre. Dessa forma, enquanto houver água de chuva disponível, a mesma

será utilizada, só sendo utilizada água potável nos galpões 1 e 2 quando o nível de água no reservatório de água de chuva for inferior a 5% de seu volume.

A motobomba que irá bombear água do reservatório inferior de água de chuva ao reservatório superior foi escolhida seguindo as recomendações da NBR 5626 (ABNT, 1998). Foi considerada a instalação de duas motobombas, sendo uma de reserva. O diâmetro de recalque foi calculado por meio da fórmula de Forschheimer, apresentada na Equação 3.1.

$$D_R = 1,3x\sqrt{Qx^4\sqrt{\frac{h}{24}}} \quad (3.1)$$

Onde:

$D_R$  é o diâmetro da tubulação de recalque (m);

$Q$  é a vazão de recalque (m<sup>3</sup>/s);

$h$  é o número de horas de funcionamento da motobomba por dia (horas/dia).

Para a tubulação de sucção, adotou-se o diâmetro comercial disponível imediatamente superior ao diâmetro de recalque calculado. A potência necessária da motobomba foi determinada por meio da Equação 3.2 (GHISI, 2016).

$$P = \frac{QxH_{man}}{75xR} \quad (3.2)$$

Onde:

$P$  é a potência necessária para a motobomba (cv);

$Q$  é a vazão de recalque (litros/s);

$H_{man}$  é a altura manométrica dinâmica (m);

$R$  é o rendimento da motobomba (adimensional).

O rendimento da motobomba é determinado por meio da Equação 3.3 (GHISI, 2016).

$$R = \frac{P_a}{P_m} \quad (3.3)$$

Onde:

$R$  é o rendimento da motobomba (adimensional);



$P_a$  é a potência aproveitável (cv);

$P_m$  é a potência nominal (cv).

A altura manométrica é determinada por meio da Equação 3.4 (GHISI, 2016).

$$H_{man} = H_{man(rec)} + H_{man(suc)} \quad (3.4)$$

Onde:

$H_{man}$  é a altura manométrica (m);

$H_{man(rec)}$  é a altura manométrica do recalque (m);

$H_{man(suc)}$  é a altura manométrica da sucção (m).

A altura manométrica de recalque é determinada por meio da Equação 3.5 (GHISI, 2016).

$$H_{man(rec)} = H_{est(rec)} + J_{(rec)} \quad (3.5)$$

Onde:

$H_{man(rec)}$  é a altura manométrica do recalque (m);

$H_{est(rec)}$  é a altura estática do recalque (m);

$J_{(rec)}$  é a perda de carga no recalque (m).

A altura manométrica de sucção é determinada por meio da Equação 3.6 (GHISI, 2016).

$$H_{man(suc)} = H_{est(suc)} + J_{suc} \quad (3.6)$$

Onde:

$H_{man(suc)}$  é a altura manométrica da sucção (m);

$H_{est(suc)}$  é a altura estática da sucção (m);

$J_{suc}$  é a perda de carga na sucção (m).

A altura estática de sucção considerada foi de cinco metros, que corresponde à altura do fundo do reservatório inferior até o nível da motobomba e a altura estática de recalque

considerada foi de dez metros, correspondendo à altura entre a motobomba e o reservatório superior. As perdas de carga foram calculadas considerando tubulações de PVC e suas respectivas conexões. Após realizar os cálculos, a motobomba foi escolhida a partir da tabela para seleção de bombas e motobombas Schneider (SCHNEIDER, 2018).

Os preços dos materiais necessários foram orçados em três lojas da região, com exceção da válvula solenoide, que foi orçada em uma loja localizada em outro estado, e os custos de mão de obra para a instalação do sistema foram orçados com empresas locais de mão de obra especializada. Visto que cada cenário considera a instalação de calhas, condutores verticais e horizontais em diferentes coberturas, para cada cenário, a área de captação de água de chuva e o custo com compra de equipamentos e mão de obra de instalação foi diferente. Por este motivo, foi realizada a análise econômica para cada um dos três cenários considerados.

A análise econômica foi realizada no programa Netuno 4. O programa solicita as tarifas de água e esgoto, a inflação ao mês, o período de reajuste de tarifas de água e energia elétrica, o período de análise, a taxa mínima de atratividade e o mês de instalação do sistema de captação de água de chuva. Também devem ser fornecidos os custos de mão de obra e os custos de compra do reservatório inferior, tubulações e acessórios. Quando é utilizado reservatório superior, são solicitadas as tarifas de energia e os custos iniciais com compra de reservatório superior e motobomba. Além disso, podem ser inseridos outros custos operacionais, como custos de manutenção ou tratamento de água, quando aplicáveis.

O valor de inflação considerado foi tomado como a média dos valores mensais de inflação entre outubro de 2017 e setembro de 2018 obtidos do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). As tarifas de água para consumo em indústrias foram verificadas com a concessionária local, que é a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN, 2018) e as tarifas de esgoto foram consideradas nulas, visto que a empresa possui tratamento de esgoto no local. As tarifas de energia elétrica foram consultadas com a concessionária local, Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC, 2018). Conforme consta em uma fatura de energia elétrica fornecida pela empresa, a mesma se enquadra na modalidade tarifária horária verde, subgrupo A4 e na classificação de demais classes. Foi considerada a tarifa para consumo fora de ponta, pois foi identificado nas faturas da empresa que mais de 95% do consumo se enquadra nessa categoria. O imposto considerado sobre as tarifas de energia foi o ICMS indicado pela CELESC para demais classes. O período de reajuste de tarifas de água e energia elétrica foi considerado como 12 meses.

O período de análise considerado foi de vinte anos, que é o tempo médio de vida útil da motobomba, a qual se caracteriza por ser um dos equipamentos do sistema que apresenta menor durabilidade. A taxa mínima de atratividade ao mês considerada foi a média dos valores do índice de rentabilidade da poupança entre os meses de outubro de 2017 e setembro de 2018, obtidos pelo Banco do Brasil (BB, 2018) acrescida de 0,5% de juros. O valor médio da rentabilidade da poupança foi considerado como taxa mínima de atratividade, pois a instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva analisado neste trabalho promove sustentabilidade ambiental. O mês considerado de instalação do sistema foi o mês de janeiro.

Depois de inseridos os dados necessários no programa Netuno, o programa retorna o valor presente líquido da instalação do sistema, a taxa interna de retorno ao mês e indica se há retorno financeiro no período considerado. Caso haja retorno financeiro no período considerado, o programa indica ainda o tempo de retorno do investimento. Para este trabalho, foram considerados como economicamente viáveis os cenários que apresentaram retorno financeiro no período de tempo considerado, de vinte anos, onde a taxa interna de retorno calculada foi superior à taxa mínima de atratividade e o valor presente líquido foi positivo.

### 3.6. Verificação da adequabilidade da água ao uso pretendido

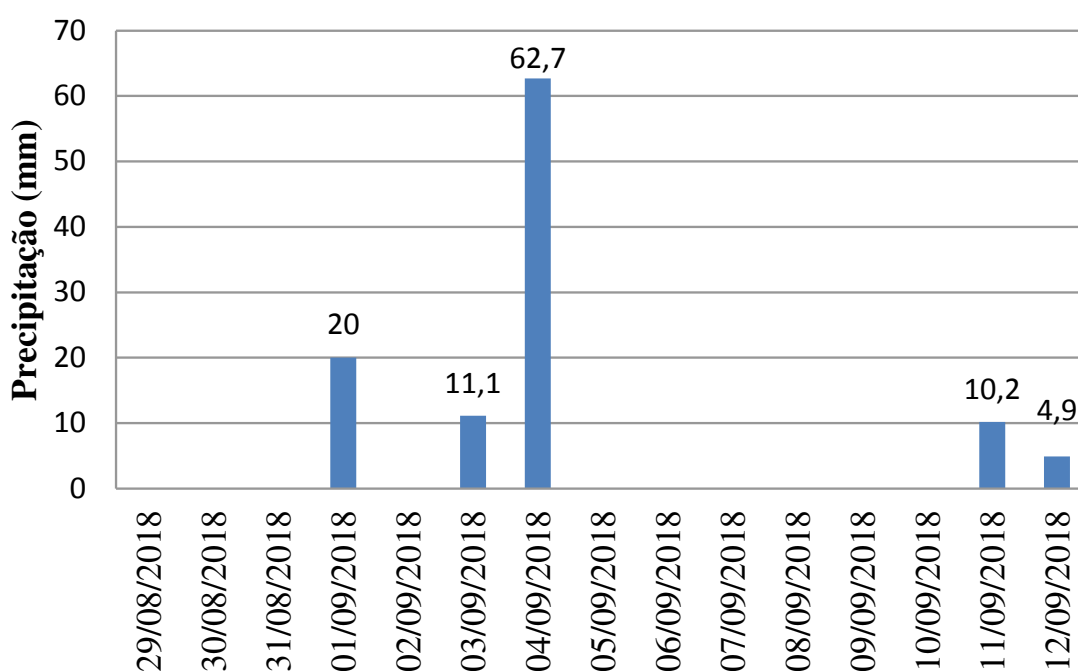
A demanda de água para consumo humano nos lavatórios, vasos sanitários, chuveiros e bebedouros é atendida completamente pelo volume disponível de água para captação do poço artesiano. Essa demanda é atendida completamente pelo poço artesiano tanto no cenário atual quanto no cenário futuro, em que o consumo de água será dobrado. Por esse motivo, com a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva pretendido, a água coletada seria utilizada somente para as atividades de fabricação de concreto, corte e limpeza de pistas.

Desta forma, faz-se necessária a avaliação da qualidade da água de chuva coletada, de modo a verificar se a mesma possui características adequadas para uso na fabricação do concreto. A NBR 15900 (ABNT, 2009) estabelece os critérios para que a água seja considerada adequada para uso como água de amassamento de concreto.

Foram realizadas duas coletas de água de chuva em dois dias diferentes. As coletas foram realizadas no mesmo local, sendo a água proveniente do escoamento da cobertura do escritório da empresa. Optou-se por realizar uma coleta sem descarte inicial de precipitação e outra com descarte inicial, de forma a comparar a qualidade da água coletada em duas situações distintas. A primeira coleta foi realizada em 11/09/2018 após seis dias sem chuva.

Para esta amostra, não houve descarte inicial de precipitação. A segunda coleta foi realizada em 12/09/2018 com descarte inicial de 2 mm de chuva. A precipitação diária das duas semanas anteriores às datas de coleta é apresentada na Figura 3.5. O procedimento de coleta e armazenamento foi seguido conforme o estabelecido na NBR 15900 (ABNT, 2009). Para o armazenamento da água coletada foram utilizadas garrafas plásticas onde anteriormente só havia sido armazenada água potável.

**Figura 3.5 – Precipitação nas duas semanas anteriores às coletas de água de chuva**



Fonte: Modificado de INMET (2018)

Como a água a ser ensaiada era de captação pluvial, a NBR 15900 (ABNT, 2009) classifica a mesma com a numeração 3.5, juntamente com água natural de superfície e água residual industrial. Dessa forma, seguindo o fluxograma apresentado na Figura 2.2, foram identificadas as análises necessárias.

Primeiramente foi preciso realizar os ensaios preliminares. Depois disso, se a água cumprisse com os requisitos estabelecidos para os ensaios preliminares, poderia ser feita a determinação dos contaminantes (açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo e zinco) ou os ensaios de tempo de pega e resistência. Caso a água não fosse aprovada nos critérios estabelecidos para os ensaios preliminares, a execução dos ensaios de tempo de pega e resistência seria obrigatória. Se a água em ensaio não cumprir com todos os requisitos estabelecidos nos

ensaios preliminares, ela ainda poderá ser aprovada para uso no concreto, desde que seja aprovada nos critérios de tempo de pega e resistência, cloretos (ou atender à NBR12655), sulfatos e álcalis (ou atender à NBR15577). Visto que a execução dos ensaios de tempo de pega e resistência exclui a necessidade da determinação dos contaminantes, e ainda contemplam a possibilidade de algum critério dos ensaios preliminares não ser satisfeito, optou-se por realizar estes ensaios e não realizar a determinação dos contaminantes.

Na sequência, é necessária a realização dos ensaios de teor de cloretos e sulfatos. Por fim, é preciso determinar o teor de álcalis na água caso sejam utilizados agregados potencialmente reativos com álcalis. A determinação do teor de álcalis não se fez necessária, pois a empresa em questão utiliza agregados que não são reativos com álcalis. A empresa utiliza agregados de um único fornecedor, retirados da mesma mina, e a não reatividade dos mesmos é verificada por meio da realização de ensaios periódicos de reação álcali-agregado.

Foram realizados, portanto, os seguintes ensaios:

- Ensaios preliminares
  - Óleos e gorduras;
  - Detergentes;
  - Cor;
  - Material sólido;
  - Odor;
  - Ácidos (pH);
  - Matéria orgânica;
- Tempo de pega;
- Resistência;
- Cloretos (expresso em Cl<sup>-</sup>);
- Sulfatos (Expresso em  $SO_4^{2-}$ ).

Os ensaios preliminares e os ensaios de teor de cloretos e sulfatos na água foram realizados em duplicata no laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os ensaios de óleos e gorduras, detergentes, cor, material sólido e odor foram realizados de acordo com os procedimentos indicados na NBR 15900-3 (ABNT, 2009).

Os ensaios de teor de ácidos (pH) foram realizados utilizando um equipamento pHmetro, que é um instrumento utilizado para a medida do pH através do método potenciométrico. Para a realização do ensaio, primeiramente deve ser realizada a calibração

do aparelho com solução tampão de pH neutro, igual a 7. Depois disso, o eletrodo deve ser lavado com água destilada, com o auxílio de um pisquete, e o aparelho deve ser calibrado com solução tampão de pH igual a 4 e lavado novamente com água destilada. Com o aparelho calibrado, o eletrodo deve ser mergulhado na água cujo pH se desejava medir, e mantido imerso até o equilíbrio do valor indicado. O valor do pH da amostra pode então ser lido na tela do aparelho pH-metro. Entre um ensaio e outro é necessário lavar o eletrodo com água deionizada.

Os ensaios de matéria orgânica foram realizados pelo método colorimétrico. Para a execução do ensaio por esse método, é necessário adicionar 3,5 mL de reagente de  $H_2SO_4$  ( $Ag_2SO_4 + H_2SO_4$ ) com uma pipeta volumétrica de 5 mL e 1,5 mL de solução de digestão ( $K_2Cr_2O_7 + HgSO_4$ ) em um tubo de borossilicato de 10 mL com rosca. Em seguida, deve ser adicionado ao tubo 2,5 mL da amostra de água a ser ensaiada e o tubo deve ser fechado e agitado vigorosamente. Além disso, deve ser preparado um tubo seguindo o mesmo procedimento, mas com adição de 2,5 mL de água destilada no lugar da água de amostra. Os tubos devem então ser colocados em um bloco de digestão aquecido, e devem permanecer no aparelho durante 120 minutos. Depois de passado o tempo, o digestor deve ser desligado e é preciso aguardar até que os tubos resfriem. Os tubos então devem ser retirados do aparelho e armazenados em local protegido da luz até o procedimento de leitura no espectrofotômetro. Assim que a temperatura dos tubos estiver reduzida, o aparelho espectrofotômetro deve ser zerado com o tubo que contém a amostra preparada com água destilada. As leituras do teor de matéria orgânica, em mg/L, devem então ser feitas no espectrofotômetro UV-Vis com comprimento de onda de 600 nm.

O ensaio de tempo de pega foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) de acordo com o procedimento indicado na NBR 16607 (ABNT, 2017). A NBR 15900 (ABNT, 2009) define que para que a água em análise seja aprovada no critério do tempo de pega, os tempos de início e fim de pega não deverão diferir mais do que 25% dos tempos de início e fim de pega de amostras de pastas preparadas com água destilada ou deionizada. Os tempos de início e fim de pega ainda deverão estar de acordo com a norma brasileira do cimento utilizado. O cimento utilizado foi o CP IV 32.

Os ensaios de resistência foram realizados no laboratório da empresa em estudo. Para os ensaios de resistência, foram moldados corpos de prova de concreto de acordo com o estabelecido na NBR 5738 (ABNT, 2015) e estes foram rompidos a 7 e a 28 dias conforme procedimento constante na NBR 5739 (ABNT, 2018b). O traço utilizado para todos os corpos

de prova foi o mesmo, sendo este um traço padrão utilizado pela empresa e o cimento utilizado foi o CP V ARI. Para o ensaio de resistência, foram moldados quatro corpos de prova para cada tipo de água, e desta forma, foram rompidos dois corpos de prova de cada amostra 7 dias após a moldagem e dois de cada amostra 28 dias após a moldagem. Foram moldados corpos de prova de concreto elaborado com a água utilizada na empresa (do poço artesiano), água destilada, água da primeira coleta e água da segunda coleta. A NBR 15900 (ABNT, 2009) estabelece que para ser aprovada no ensaio de resistência média à compressão aos 7 e aos 28 dias, os corpos de prova de argamassa ou de concreto preparados com a água em ensaio devem apresentar pelo menos 90% da resistência à compressão dos corpos de prova preparados com água destilada ou deionizada.

O ensaio de teor de cloretos nas amostras de água foi realizado pelo procedimento de titulometria. Para a execução dos ensaios de teor de cloretos, deve ser colocado 100 ml da amostra de água em um erlenmeyer de 250 ml, depois o pH da amostra deve ser ajustado entre 7 e 10 com ácido ou base e 1 ml de solução indicadora de cromato de potássio deve ser adicionado à amostra. A amostra deve então ser titulada com nitrato de prata 0,0141 N até o aparecimento de um leve tom avermelhado. Primeiramente o procedimento deve ser realizado com uma amostra de água deionizada, e depois com amostras das águas que se pretende ensaiar. O teor de cloretos é então calculado por meio da Equação 3.7.

$$\text{Teor de cloretos (mg Cl/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 35,45 \times 10^3}{V} \quad (3.7)$$

Onde:

A é o volume gasto para titular a amostra (mL);

B é o volume gasto para titular a amostra de água deionizada (mL);

N é a normalidade de nitrato de prata (N);

V é o volume da amostra (mL).

A NBR 15900 (ABNT, 2009) estabelece limites para a presença de cloreto na água ensaiada, expresso como  $Cl^-$ , de acordo com o uso final do concreto, sendo os possíveis usos apresentados de concreto protendido ou graute, concreto armado e concreto simples. Na empresa em questão, são feitas peças em concreto protendido e concreto armado. Como o teor máximo de cloreto para o concreto protendido é o menor (mais rígido), o teor máximo de cloreto a ser considerado como limitante será o definido para esta categoria de uso final, que é de 500 mg/L.

O ensaio de teor de sulfatos foi realizado com a utilização de espectrofotômetro com comprimento de onda de 420 nm. Para a execução do ensaio, primeiramente deve ser preparada solução ácida condicionadora, adicionando 50 mL de glicerina a uma solução que contenha: 30 mL de ácido clorídrico concentrado, 300 mL de água destilada, 100 mL de álcool etílico e 75 gramas de cloreto de sódio. Para a execução do ensaio, deve ser colocado 10 mL de água destilada em um erlenmeyer de 50 mL. Deve ser adicionado ao erlenmeyer 1 mL de solução ácida condicionadora e a mistura deve ser homogeneizada. Depois disso, deve ser adicionado 0,5 grama de cristais de  $BaCl_2 \cdot H_2O$  e o recipiente deve ser agitado por um minuto. O líquido deve então ser transferido para uma cubeta de 1 cm do espectrofotômetro e a absorbância deve ser ajustada a um valor de zero no aparelho espectrofotômetro. Para a determinação do teor de sulfatos na água a ser ensaiada, o mesmo procedimento deve ser realizado, mas no lugar de 10 mL de água destilada, devem ser adicionados 10 mL da água a ser ensaiada. A absorbância deve então ser lida com comprimento de onda de 420 nm dentro dos próximos dois minutos.

O teor máximo para aceitação da água em análise quanto à presença de sulfatos estabelecido pela NBR 15900 (ABNT, 2009) é de 2.000 mg/L de sulfato expresso como  $SO_4^{2-}$ .



## 4. Resultados

### 4.1. Levantamento de dados

#### 4.1.1. Dados pluviométricos

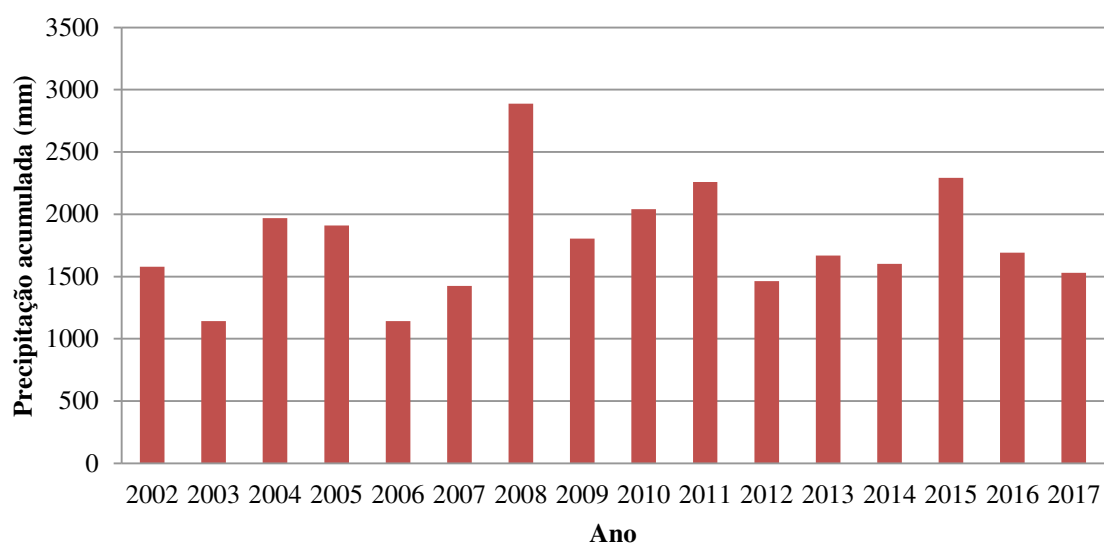
Foi possível obter na base de dados do INMET os dados de precipitação diária da estação localizada no bairro Praia Comprida, no município de São José, de coordenadas 27,6025° S e 48,620278° W desde o ano de 1961. Entretanto, não existem dados para os anos de 1984 a 1987 e para os anos de 1990, 1991 e 2000. Para o ano de 2001, só há dados a partir do mês de setembro. Por este motivo, optou-se por utilizar os dados de setembro de 2001 até julho de 2018, totalizando aproximadamente dezessete anos de dados pluviométricos em base diária.

As precipitações acumuladas para cada ano entre 2002 e 2017 são apresentadas na Figura 4.1. Entre os anos de 2002 e 2017, o ano que apresentou menor precipitação acumulada foi o de 2006 com 1.141 mm e o que apresentou maior precipitação acumulada foi o ano de 2008, com 2.889 mm. A média de precipitação anual é de 1.775 mm/ano.

As médias mensais de precipitação durante o período compreendido entre 2002 e 2017, assim como as precipitações mensais mínimas e máximas para cada mês que ocorreram no período são apresentadas na Figura 4.2.

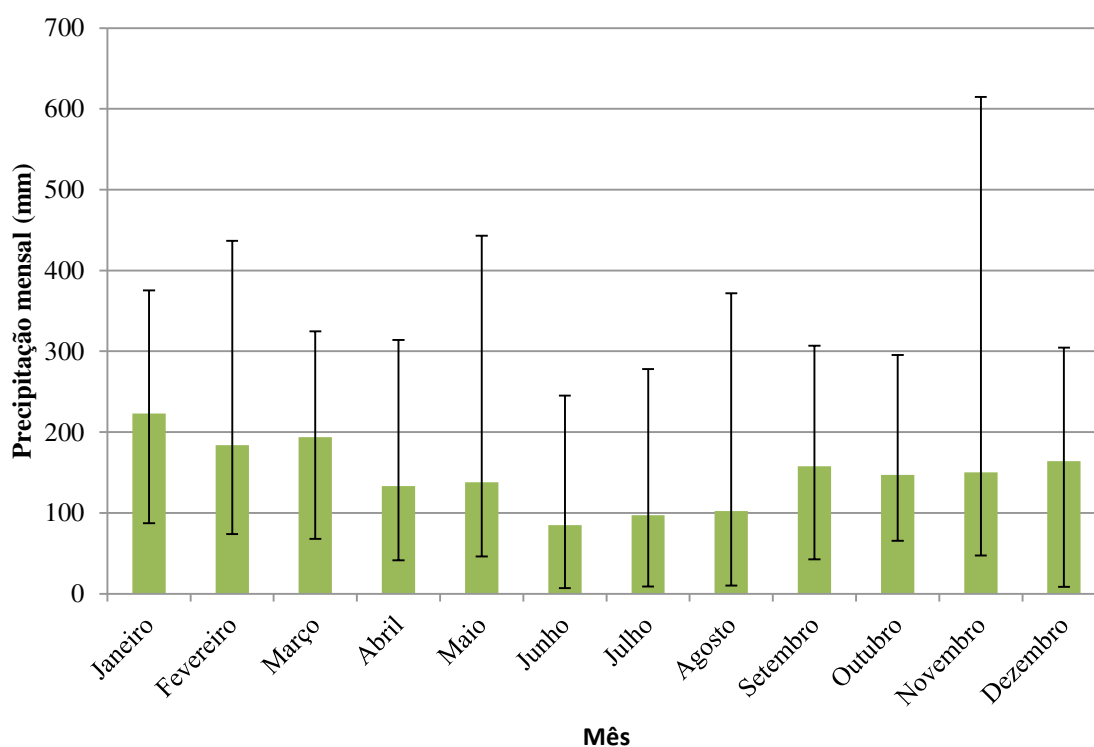
O mês com maior precipitação média acumulada foi o mês de janeiro, com 223 mm e o mês mais seco foi o de junho, com 85 mm. A distribuição da precipitação não se mostrou homogênea para todos os meses do ano. Entretanto, não foram identificados longos períodos de seca, o que indica que é possível coletar água de chuva durante todas as estações do ano.

**Figura 4.1 – Precipitação anual acumulada da região entre 2002 e 2017**



Fonte: Modificado de INMET (2018)

**Figura 4.2 – Média da precipitação mensal entre os anos de 2002 e 2017**



Fonte: Modificado de INMET (2018)

#### 4.1.2. Consumo atual de água

As estimativas de consumo de água na fábrica são apresentadas na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Consumo de água na fábrica entre Agosto de 2017 e Julho de 2018**

<b>Mês</b>	<b>Água para fabricação de concreto (L)</b>	<b>Água para corte e limpeza de pistas (L)</b>	<b>Água para consumo humano (L)</b>	<b>Consumo total de água (L)</b>	<b>Dias úteis no mês (Dias)</b>	<b>Consumo diário médio nos dias úteis (L/dia)</b>
<b>Agosto/2017</b>	309.116	34.400	47.840	391.356	23	17.015
<b>Setembro/2017</b>	96.354	800	41.600	138.754	20	6.938
<b>Outubro/2017</b>	101.884	16.250	43.680	161.814	21	7.705
<b>Novembro/2017</b>	186.462	-	41.600	228.062	20	11.403
<b>Dezembro/2017</b>	148.686	-	41.600	190.286	20	9.514
<b>Janeiro/2018</b>	25.773	2.500	45.760	74.033	22	3.365
<b>Fevereiro/2018</b>	176.370	24.850	39.520	240.740	19	12.671
<b>Março/2018</b>	100.641	9.700	43.680	154.021	21	7.334
<b>Abril/2018</b>	93.402	17.750	43.680	154.832	21	7.373
<b>Mai/2018</b>	147.459	2.800	45.760	196.019	22	8.910
<b>Junho/2018</b>	213.106	20.300	43.680	277.086	21	13.195
<b>Julho/2018</b>	227.282	18.650	45.760	291.692	22	13.259

#### 4.1.3. Demanda de água de chuva

A demanda de água considerada neste trabalho para fins de análise é o dobro do consumo mensal estimado. A demanda total de água pode ser separada em duas categorias: água potável e não potável. A água não potável compreende os usos com fabricação de concreto, corte de peças e limpeza de pistas, visto que estas atividades não requerem a potabilidade da água, e a água potável contempla a demanda para consumo humano. A demanda de água não potável é aquela que poderá ser substituída por água de chuva. Os dados de demanda de água são apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 – Demanda total de água na fábrica**

<b>Mês</b>	<b>Água para fabricação de concreto (L)</b>	<b>Água para corte e limpeza de pistas (L)</b>	<b>Água para consumo humano (L)</b>	<b>Demanda total (L)</b>	<b>Dias úteis no mês (Dias)</b>	<b>Demanda diária média nos dias úteis (L/dia)</b>
<b>Janeiro</b>	51.547	5.000	91.520	148.067	22	6.730
<b>Fevereiro</b>	352.740	49.700	79.040	481.480	19	25.341
<b>Março</b>	201.283	19.400	87.360	308.043	21	14.669
<b>Abril</b>	186.805	35.500	87.360	309.665	21	14.746
<b>Mai</b>	294.918	5.600	91.520	392.038	22	17.820
<b>Junho</b>	426.211	40.600	87.360	554.171	21	26.389
<b>Julho</b>	454.564	37.300	91.520	583.384	22	26.517
<b>Agosto</b>	618.232	68.800	95.680	782.712	23	34.031
<b>Setembro</b>	192.708	1.600	83.200	277.508	20	13.875
<b>Outubro</b>	203.768	32.500	87.360	323.628	21	15.411
<b>Novembro</b>	372.925	-	83.200	456.125	20	22.806
<b>Dezembro</b>	297.372	-	83.200	380.572	20	19.029

O volume de água disponível no poço artesiano varia de acordo com a época do ano, devido a diversos fatores ambientais. Para fins de análise do potencial de economia de água por meio de implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva, foi utilizado um valor médio, informado pela empresa, de 14.000 L de água por dia de oferta de água do poço artesiano.

A demanda diária estimada de água potável para os dias úteis é de 4.160 L/ dia. Esta demanda não pode ser suprida pela água de chuva, pois a mesma não apresenta potabilidade. A demanda total futura de água será suprida por três fontes distintas: água do poço artesiano, água da concessionária e água de chuva. Será considerado que para cada dia, se a demanda for igual ou inferior a 14.000 L, ela será totalmente atendida pela água do poço artesiano. Se a demanda for superior a 14.000 L, ela passará a ser atendida pelo poço artesiano, que fornecerá 14.000 L, e a demanda excedente será atendida pela água de chuva disponível e pela água da concessionária, quando a água de chuva não suprir toda a demanda excedente. Dessa forma, a

demanda diária de água potável é suprida em sua totalidade pelos 14.000 L diários de água disponíveis para bombeamento do poço artesiano.

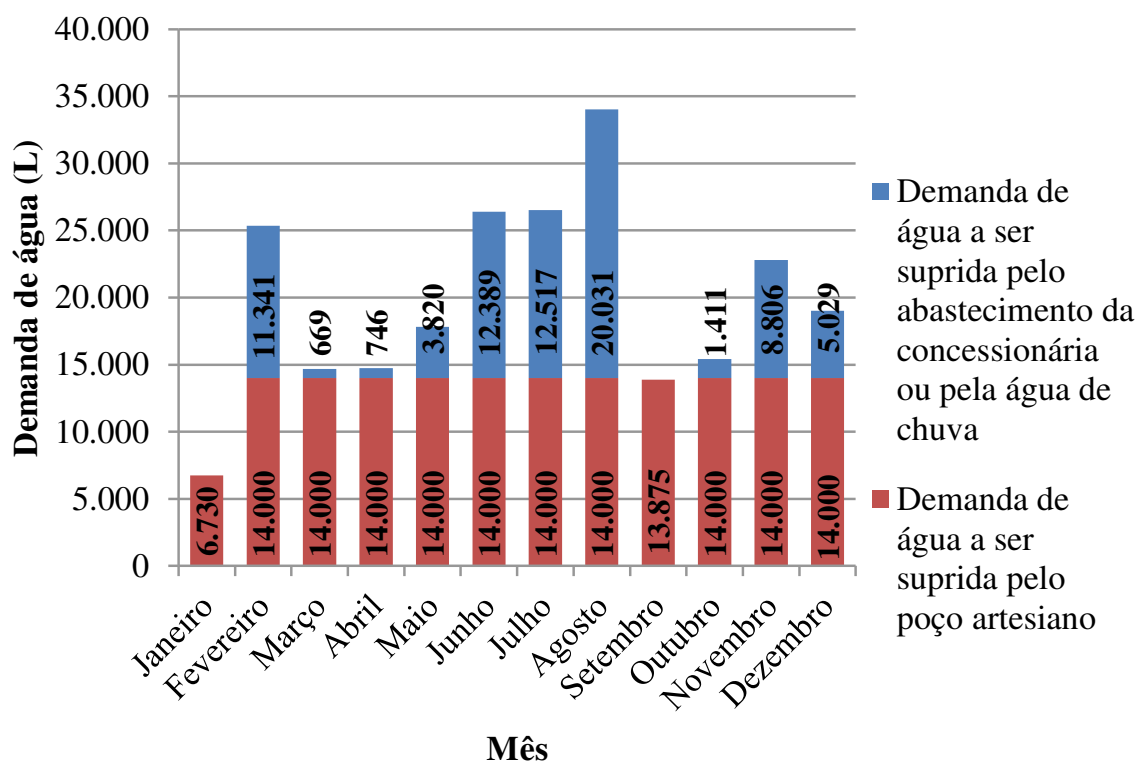
A Tabela 4.3 apresenta a demanda de água que pode ser suprida pela água de chuva, sendo aquela que excede os 14.000 L de consumo diário.

**Tabela 4.3 – Demanda de água que pode ser substituída por água de chuva**

<b>Mês</b>	<b>Demanda de água nos dias úteis que pode ser substituída por água de chuva (L/dia)</b>
<b>Janeiro</b>	-
<b>Fevereiro</b>	11.341
<b>Março</b>	669
<b>Abril</b>	746
<b>Mai</b>	3.820
<b>Junho</b>	12.389
<b>Julho</b>	12.517
<b>Agosto</b>	20.031
<b>Setembro</b>	-
<b>Outubro</b>	1.411
<b>Novembro</b>	8.806
<b>Dezembro</b>	5.029

A Figura 4.3 apresenta as parcelas da demanda de água que serão atendidas pelo poço artesiano e as parcelas que serão atendidas pela água fornecida pela concessionária, e que podem ser substituídas por água de chuva.

**Figura 4.3 – Parcelas da demanda futura de água a serem atendidas pelo poço artesiano e pela concessionária ou água de chuva**



#### 4.2. Potencial de economia de água potável

Após a definição da demanda de água que pode ser substituída por água de chuva, foram feitas simulações no programa computacional Netuno 4 para determinar o volume ideal para o reservatório. Foram feitas simulações para três diferentes cenários. O primeiro cenário considera a captação de água de chuva de todas as coberturas identificadas na Figura 3.3, o segundo cenário considera todas as coberturas com exceção dos galpões 1 e 2 e o terceiro cenário considera todas as coberturas com exceção do galpão 1 e refeitório.

Os dados de entrada para os três cenários são apresentados na Tabela 4.4. Os dados de demanda foram inseridos no programa Netuno em base diária, sendo considerado para dias úteis o valor de demanda diária média nos dias úteis e para finais de semana e feriados a demanda considerada foi nula.

Foi considerado somente um morador, pois os dados de demanda de água foram fornecidos ao programa já considerando o número total de empregados e a demanda de água destinada às demais atividades da empresa. Foi considerada a instalação de um reservatório superior de 500 L para que a água seja bombeada do reservatório inferior para o superior e

depois seja distribuída por gravidade. Como os dados de demanda de água inseridos no programa Netuno referiam-se à demanda de água de chuva, e não à demanda total de água na fábrica, foi considerado como 100% o percentual da demanda total a ser substituída por água de chuva.

**Tabela 4.4 – Dados de entrada Netuno**

<b>Dados de entrada Netuno</b>		
Data inicial	01/09/2001	
Descarte do escoamento inicial (mm)	2	
Área de captação (m <sup>2</sup> )	Primeiro cenário:	15.346,71
	Segundo cenário:	3.266,71
	Terceiro cenário:	8.767,89
Demanda total de água	Variável (conforme dados da Tabela 4.3)	
Número de moradores	1	
Percentual da demanda total a ser substituída por água de chuva (%)	100	
Coeficiente de escoamento superficial	0,8	
Volume do reservatório superior (L)	500	
Percentual do volume do reservatório superior abaixo do qual há recalque (%)	5	
Volume do reservatório inferior	Simulação para diferentes volumes	
Volume máximo reservatório inferior (L)	50.000	
Intervalo entre volumes (L)	1.000	
Diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva (%/m <sup>3</sup> )	1	

Após a simulação para o primeiro cenário, foi obtido volume ideal de reservatório igual a 26.000 L e potencial de economia de água potável de 54,96%. Como este volume de reservatório não é facilmente encontrado, optou-se por considerar reservatório inferior de 25.000 L, que proporciona economia de água potável estimada de 54,00%.

Para a simulação realizada para o segundo cenário, o programa informou que o volume ideal de reservatório era de 22.000 L, que proporcionaria um potencial de economia

de água potável de 46,32%. Optou-se por adotar reservatório inferior com volume de 25.000 L, proporcionando 49,03% de economia de água potável.

A simulação realizada para o terceiro cenário resultou em volume ideal de reservatório inferior de 24.000 L, e foi também adotado um reservatório de 25.000L. Para o reservatório de 24.000 L, o potencial estimado de economia de água potável seria de 52,25% e para o reservatório de 25.000 L seria de 53,21%. Os valores obtidos para as simulações realizadas para os três diferentes cenários são apresentados na Tabela 4.5.

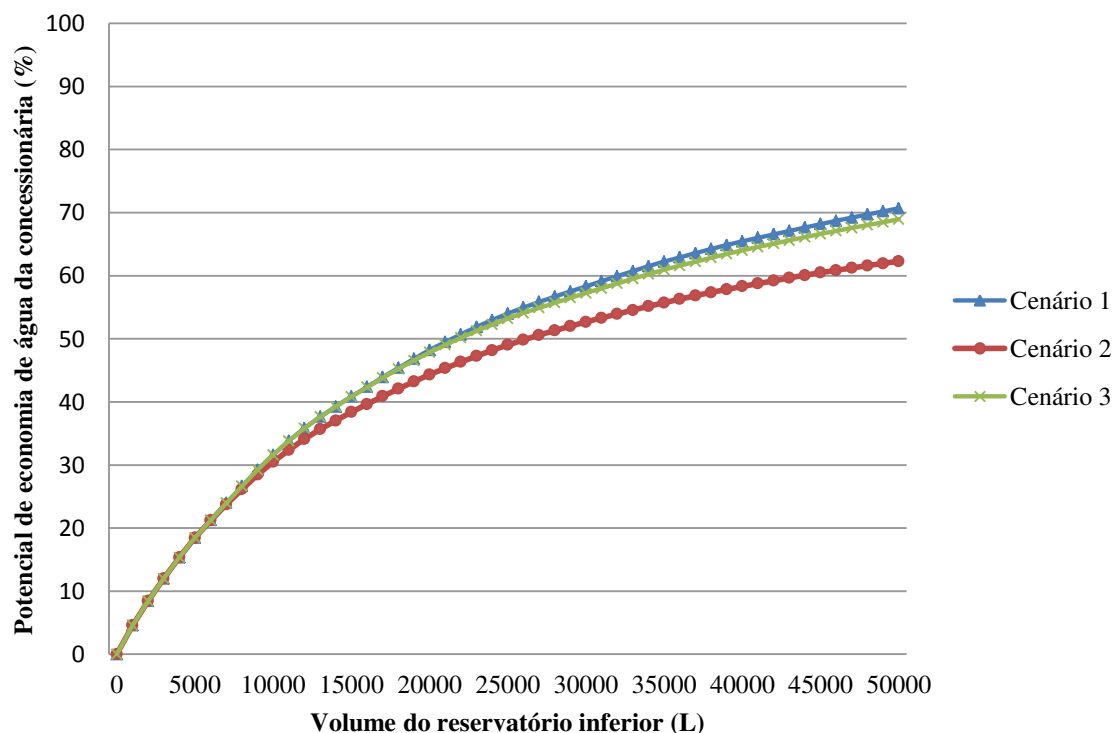
**Tabela 4.5 – Resultados das simulações**

<b>Item</b>	<b>Primeiro cenário</b>	<b>Segundo cenário</b>	<b>Terceiro cenário</b>
<b>Volume ideal de reservatório inferior (L)</b>	26.000	22.000	24.000
<b>Potencial de economia de água potável para o volume ideal de reservatório inferior (%)</b>	54,96	46,32	52,25
<b>Potencial de economia de água potável para o volume de reservatório inferior adotado, de 25.000 L (%)</b>	54,00	49,03	53,21

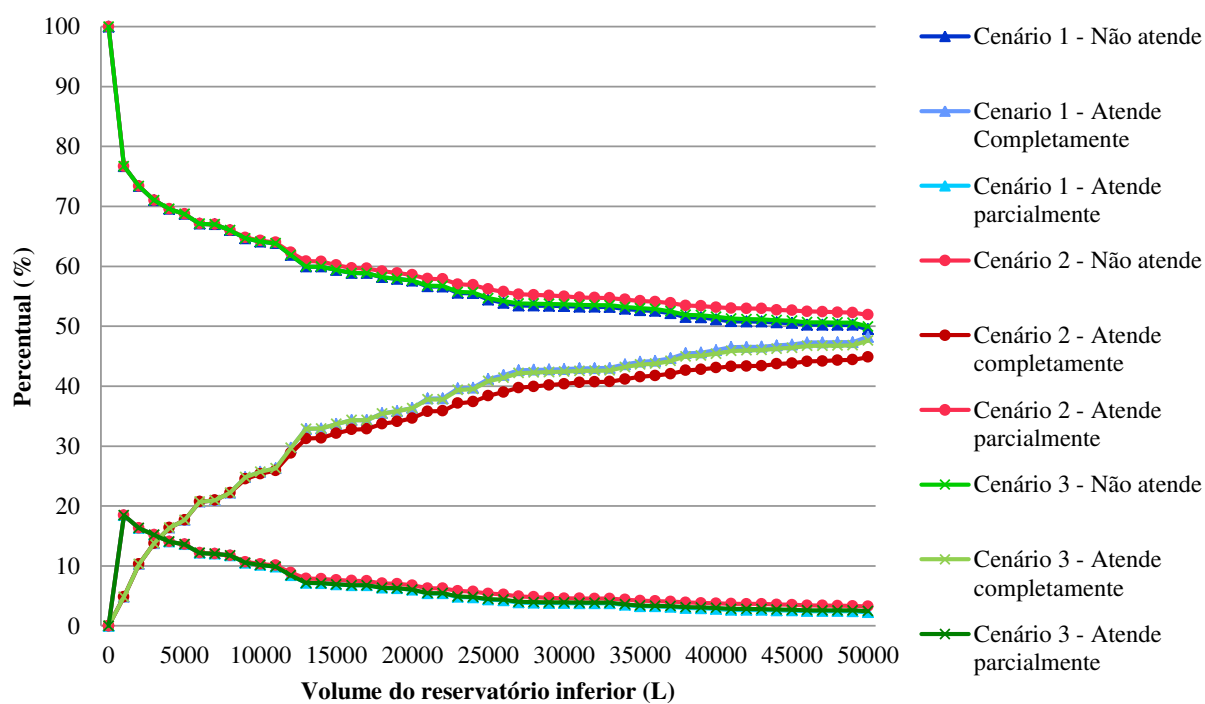
A Figura 4.4 apresenta a variação do potencial de economia de água potável da concessionária de acordo com o volume de reservatório considerado para os três cenários. A Figura 4.5 apresenta para os três cenários simulados o percentual de dias em que a demanda de água que não é suprida pelo poço artesiano é atendida totalmente pela água de chuva, parcialmente, ou não é atendida, de acordo com a variação do volume de reservatório. Por fim, a Figura 4.6 apresenta o volume de água de chuva captada que é extravasado de acordo com os diferentes volumes de reservatório simulados para cada um dos cenários considerados.



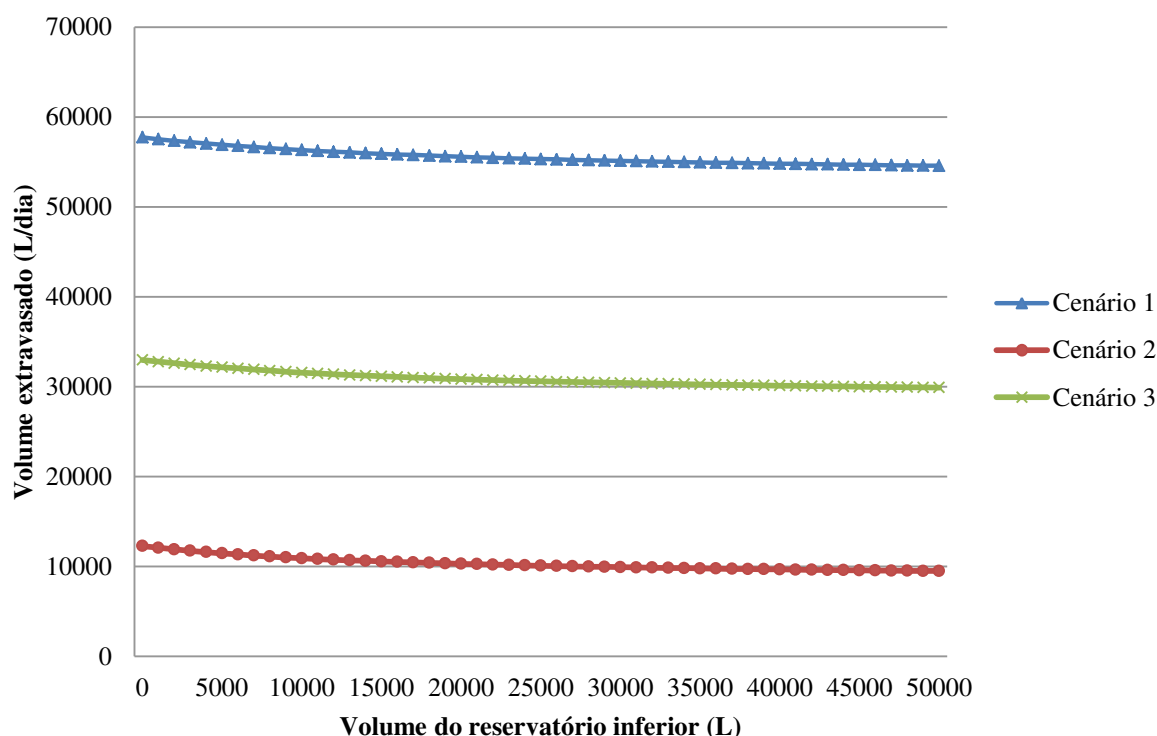
**Figura 4.4 – Variação do potencial de economia de água potável da concessionária para diferentes volumes de reservatório**



**Figura 4.5 – Percentuais de atendimento da demanda de água não potável para diferentes volumes de reservatório**



**Figura 4.6 – Volume de água de chuva extravasado para diferentes volumes de reservatório**



#### 4.3. Análise econômica

Os preços dos materiais orçados em quatro lojas são apresentados no Apêndice A e os quantitativos de materiais a serem comprados para cada um dos três cenários simulados são apresentados no Apêndice B. O custo de mão de obra de instalação dos equipamentos foi obtido consultando-se empresas especializadas da região e foi de R\$75.000,00 para o primeiro cenário, R\$18.000,00 para o segundo e R\$25.000,00 para o terceiro.

A motobomba selecionada foi a motobomba centrífuga Schneider, modelo BC-91S com 1 cv de potência.

Os custos de implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva para os três cenários são apresentados na Tabela 4.6. O valor apresentado para os acessórios contempla os custos com a compra de equipamentos como calhas, conexões, boiás de nível, válvula solenoide, entre outros itens necessários à instalação do sistema.

**Tabela 4.6 – Custos de implantação dos cenários simulados**

<b>Item</b>	<b>Custo (R\$)</b>		
	<b>Primeiro cenário</b>	<b>Segundo cenário</b>	<b>Terceiro cenário</b>
<b>Reservatório Superior</b>	141,52	141,52	141,52
<b>Reservatório Inferior</b>	7.544,72	7.544,72	7.544,72
<b>Mão de obra</b>	75.000,00	18.000,00	25.000,00
<b>Tubulações</b>	116.449,02	29.627,59	33.998,05
<b>Acessórios</b>	112.084,86	22.013,36	50.456,06
<b>Motobombas</b>	1.659,80	1.659,80	1.659,80
<b>Total</b>	<b>312.879,92</b>	<b>78.986,99</b>	<b>118.800,15</b>

Para a análise econômica, foram inseridos os dados apresentados na Tabela 4.7 no programa Netuno. Os custos com aquisição de equipamentos foram arredondados para inserção no programa Netuno 4.

**Tabela 4.7 – Dados de entrada para análise econômica no programa Netuno**

<b>Volume do reservatório inferior (L)</b>	25.000	
<b>Tarifa de água</b>	Abaixo de 10 m <sup>3</sup> por mês - Tarifa fixa (R\$)	65,00
	Acima de 10 m <sup>3</sup> por mês - Tarifa variável (R\$/m <sup>3</sup> )	10,7866
<b>Tarifa de esgoto (R\$)</b>	0	
<b>Inflação (% ao mês)</b>	0,37	
<b>Período de reajuste das tarifas de água e energia elétrica (meses)</b>	12	
<b>Período de análise (anos)</b>	20	
<b>TMA (% ao mês)</b>	0,5	
<b>Custo do reservatório inferior (R\$)</b>	7.545,00	
<b>Custo do reservatório superior (R\$)</b>	142,00	
<b>Custo da mão de obra (R\$)</b>	Primeiro cenário:	75.000,00
	Segundo cenário:	18.000,00
	Terceiro cenário:	25.000,00
<b>Custo das tubulações (R\$)</b>	Primeiro cenário:	116.449,00
	Segundo cenário:	29.628,00
	Terceiro cenário:	33.998,00
<b>Custo dos acessórios (R\$)</b>	Primeiro cenário:	112.085,00
	Segundo cenário:	22.013,00
	Terceiro cenário:	50.456,00
<b>Potência da motobomba (cv)</b>	1	
<b>Rendimento da motobomba (%)</b>	38,8	
<b>Vazão da motobomba (L/h)</b>	6200	
<b>Tempo de partida da motobomba (s)</b>	3	
<b>Custo unitário da motobomba (R\$)</b>	829,90	
<b>Motobomba reserva</b>	Sim	
<b>Tarifa de energia elétrica (R\$/kWh)</b>	0,36506	
<b>Impostos sobre tarifa de energia elétrica (ICMS) (%)</b>	25	

Os resultados das análises econômicas simuladas no programa Netuno são apresentados na Tabela 4.8.

**Tabela 4.8 – Resultados análise econômica Netuno**

<b>Indicador</b>	<b>Primeiro cenário</b>	<b>Segundo cenário</b>	<b>Terceiro cenário</b>
<b>Valor presente líquido (VPL) (R\$)</b>	-158.819,71	59.654,71	31.998,67
<b>Tempo (meses)</b>	Não há retorno financeiro para o período em análise	127	183
<b>Taxa interna de retorno (TIR) (%/mês)</b>	-0,06	1,06	0,72

Como pode ser percebido, o primeiro cenário não apresentou viabilidade econômica de implantação. Isso se deve ao fato de neste cenário ter sido considerada a instalação de calhas, coletores verticais e horizontais em todas as coberturas existentes na empresa. Desta forma, os custos iniciais de implantação neste cenário foram muito superiores aos dos outros dois cenários. Por outro lado, o potencial de economia de água potável proveniente da concessionária não foi tão elevado para o primeiro cenário, quando comparado com os outros dois cenários. O primeiro e o segundo cenário apresentaram viabilidade econômica de implantação. Embora o segundo cenário tenha apresentado menor tempo de retorno de investimento, ele é o cenário simulado que proporciona menor potencial de economia de água potável da concessionária.

#### 4.4. Adequabilidade da água ao uso pretendido

Para este trabalho, foi considerado o cenário de economia de água potável em uma fábrica de peças pré-moldadas de concreto por meio da utilização de água de chuva para suprir parte da demanda de água. Para os cenários considerados foi analisada a possibilidade de utilizar água de chuva para produção e corte de peças de concreto e limpeza de pistas. Para que seja considerada viável a utilização de água de chuva para amassamento de concreto, é necessária a realização de algumas análises em amostras de água de chuva coletadas no local, de forma a garantir que a água coletada é própria para a confecção do concreto, não afetando sua resistência ou durabilidade. Os ensaios necessários para garantir que determinada fonte de

água é adequada para o uso na confecção de concreto são definidos na NBR 15900 (ABNT, 2009).

#### 4.4.1. Ensaios preliminares

Foram realizados ensaios com água proveniente de duas coletas realizadas no mesmo local, porém em dias distintos. A primeira coleta foi realizada sem descarte inicial, enquanto a segunda foi realizada com descarte inicial de 2 mm. A aparência da água proveniente das duas coletas é apresentada na Figura 4.7. A presença de partículas sólidas na água da primeira coleta pode ser percebida na Figura 4.8 e na água da segunda coleta, na Figura 4.9.

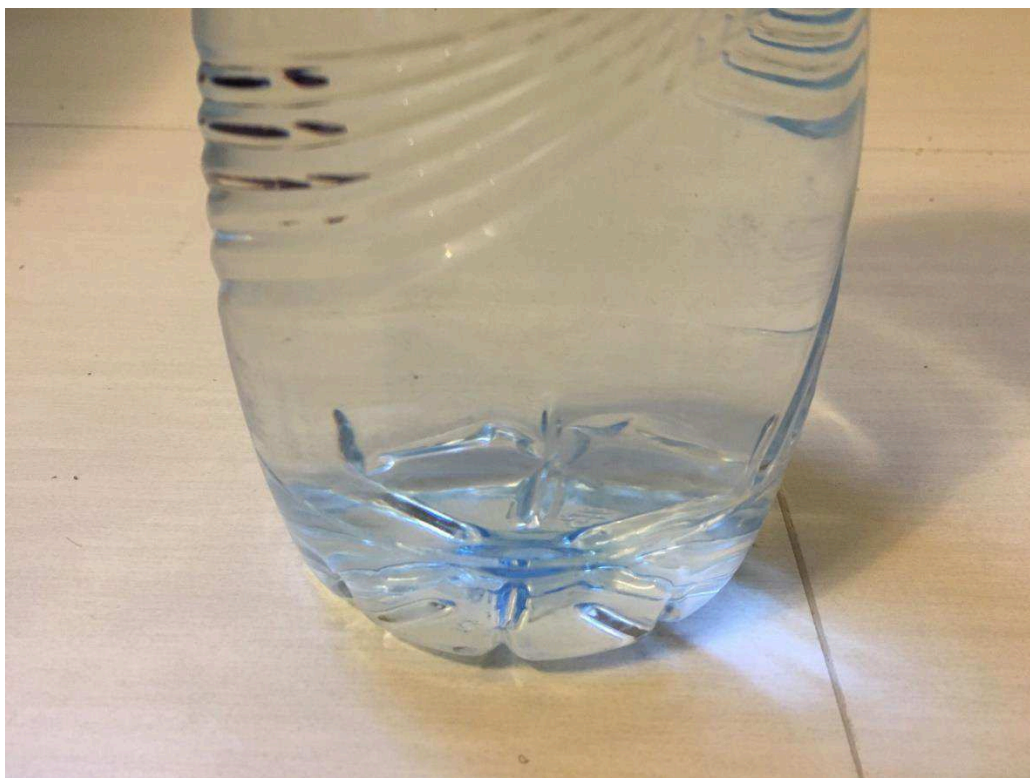
**Figura 4.7 – Aparência da água da primeira e da segunda coleta**



**Figura 4.8 – Aparência da água da primeira coleta**



**Figura 4.9 – Aparência da água da segunda coleta**



Os resultados obtidos a partir dos ensaios preliminares realizados são apresentados na Tabela 4.9. Para as análises quantitativas, é apresentada a média dos resultados obtidos. A água da segunda coleta foi aprovada em todos os critérios estabelecidos pela NBR 15900 (ABNT, 2009). Entretanto, a primeira coleta foi reprovada no critério de presença de matéria orgânica, embora tenha sido aprovada em todos os outros critérios da análise preliminar. A não aprovação da amostra neste critério não significa que a água não possa ser utilizada para confecção de concreto. A água ainda poderá ser utilizada, desde que seja aprovada no ensaio de tempo de pega e resistência e nos demais ensaios necessários.



**Tabela 4.9 – Resultados dos ensaios preliminares**

<b>Ensaio</b>	<b>Requisito</b>	<b>Primeira coleta</b>	<b>Segunda coleta</b>
<b>Óleos e gorduras</b>	Não mais do que traços visíveis	Não foram identificados indícios de presença de óleos e gorduras	Não foram identificados indícios de presença de óleos e gorduras
<b>Detergentes</b>	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 minutos	Não foi identificada presença de espuma após os 2 minutos em repouso	Não foi identificada presença de espuma após os 2 minutos em repouso
<b>Cor</b>	Amarelo claro a incolor	Incolor	Incolor
<b>Material sólido (mg/L)</b>	Máximo de 50.000 mg/L	52	56
<b>Odor</b>	Água deve ser inodora e não deve apresentar odor de sulfeto de hidrogênio após adição de ácido clorídrico	Inodora e não apresentou odor de sulfeto de hidrogênio após adição de ácido clorídrico	Inodora e não apresentou odor de sulfeto de hidrogênio após adição de ácido clorídrico
<b>Ácidos (pH)</b>	≥5	6,44	6,23
<b>Matéria orgânica (mg/L)</b>	A cor da água deve ser igual ou mais clara do que a solução padrão após a adição de NaOH	8,18	0

#### 4.4.2. Tempo de pega e resistência

Os resultados dos ensaios de tempo de pega e resistência são apresentados na Tabela 4.10 e os limites para aceitação dos ensaios de tempo de pega e resistência são apresentados na Tabela 4.11.

**Tabela 4.10 – Resultados dos ensaios de tempo de pega e resistência**

<b>Amostra</b>	<b>Início de pega</b>	<b>Fim de pega</b>	<b>Resist. CPI 7 dias (MPa)</b>	<b>Resist. CPlI 7 dias (MPa)</b>	<b>Resist. média 7 dias (MPa)</b>	<b>Resist. CPI 28 dias (MPa)</b>	<b>Resist. CPlI 28 dias (MPa)</b>	<b>Resist. média 28 dias (MPa)</b>
<b>Água destilada</b>	4:00	5:30	47,23	46,93	47,08	57,82	57,16	57,49
<b>Primeira coleta</b>	4:20	5:40	44,15	47,75	45,95	57,80	60,06	59,20
<b>Segunda coleta</b>	4:10	5:40	50,93	50,51	50,72	58,64	58,53	58,58
<b>Água empresa (poço artesiano)</b>	-	-	41,51	40,86	41,18	51,31	54,66	52,98

**Tabela 4.11 – Limites para aceitação da água em análise**

<b>Critério</b>	<b>Limite mínimo</b>	<b>Limite máximo</b>
<b>Início de pega (diferença máxima de 25% da água destilada) (h)</b>	3:00	5:00
<b>Fim de pega (diferença máxima de 25% da água destilada) (h)</b>	4:08	6:52
<b>Início de pega cimento CP IV 32 (ABNT, 2018a) (h)</b>	1:00	
<b>Limites fim de pega cimento CP IV 32 (ABNT, 2018a) (h)</b>	-	12:00
<b>Resistência 7 dias (90% da resistência da água destilada) (MPa)</b>	42,37	-
<b>Resistência 28 dias (90% da resistência da água destilada) (MPa)</b>	51,74	-

A partir dos resultados, pode-se concluir que as duas amostras de água de chuva coletadas foram aprovadas com relação aos critérios de tempo de pega e resistência. A água coletada do poço artesiano, que é utilizada na empresa, tem sua potabilidade assegurada por meio de análises realizadas periodicamente. A NBR 15900 (ABNT, 2009) considera que se a potabilidade da água for atestada, a água será considerada própria para utilização na confecção do concreto, sem necessidade de ensaios adicionais. Portanto, embora o concreto preparado com a água utilizada pela empresa, cuja fonte é o poço artesiano, não tenha

atingido 90% da resistência do concreto preparado com água destilada, a água coletada do poço ainda é considerada própria para utilização na confecção do concreto de acordo com a NBR 15900 (ABNT, 2009).

#### 4.4.3. Cloretos

Os resultados dos ensaios de cloreto são apresentados na Tabela 4.12.

**Tabela 4.12 – Resultados ensaios teor de cloreto**

Fonte	Teor de cloreto da amostra 1 (mg $Cl^-$ /L)	Teor de cloreto da amostra 2 (mg $Cl^-$ /L)	Teor médio de cloreto (mg $Cl^-$ /L)
Primeira coleta	0	0	0
Segunda coleta	2,5	2,0	2,25

Em relação ao teor de cloretos, tanto a água de chuva da primeira coleta quanto a da segunda coleta foram aprovadas.

#### 4.4.4. Sulfatos

Os resultados dos ensaios de sulfatos são apresentados na Tabela 4.13.

**Tabela 4.13 – Resultados ensaios teor de sulfato**

Fonte	Teor de sulfato da amostra 1 (mg $SO_4^{2-}$ /L)	Teor de sulfato da amostra 2 (mg $SO_4^{2-}$ /L)	Teor médio de sulfato (mg $SO_4^{2-}$ /L)
Primeira coleta	0	0	0
Segunda coleta	2,5	2,0	2,25

O teor de sulfatos nas amostras de água provenientes das duas coletas é inferior ao limite de aceitação. Portanto, as duas amostras foram aprovadas nesse critério.



## 5. Conclusão

### 5.1. Conclusões gerais

Neste trabalho foi avaliado o potencial de economia de água potável proveniente da concessionária em uma fábrica de peças pré-moldadas de concreto por meio de utilização de água de chuva. A demanda de água potável e não potável na empresa foi considerada como o dobro do consumo atual estimado, visto que a empresa pretende expandir suas atividades. A demanda futura seria atendida pela água captada do poço artesiano presente no local, que não possui capacidade para atender a demanda futura por completo, pela água de chuva coletada e pela água da concessionária local. A demanda de água potável seria atendida pela água captada do poço artesiano e a demanda por água não potável pelas três fontes de água disponíveis.

O consumo diário de água na fábrica foi estimado para cada mês do ano, e o valor médio de consumo obtido foi de 9.890 L/dia. Subtraindo do consumo total diário o consumo humano estimado, de 2.080 L/dia, foi possível obter o consumo de água que não requer potabilidade para cada mês, resultando em um valor médio de 7.810 L/dia.

Foram selecionados três cenários de implantação do sistema. Nos três cenários, foi considerado que a água de chuva seria coletada das coberturas do escritório, estacionamentos 1, 2 e 3, guarita e laboratório. Para o primeiro cenário, além das coberturas citadas, foi considerada a captação de água de chuva das coberturas dos galpões 1 e 2 e refeitório, no segundo cenário, foi considerada também a coleta de água de chuva da cobertura do refeitório e no terceiro cenário, da cobertura do galpão 2. As coberturas estão identificadas na Figura 3.3. A área de captação de água de chuva do primeiro, segundo e terceiro cenários é de 15.346,71 m<sup>2</sup>, 3.266,71 m<sup>2</sup> e 8.767,89 m<sup>2</sup> e os custos iniciais de implantação estimados foram de R\$312.879,92, R\$78.986,99 e R\$118.800,15.

O volume ideal de reservatório inferior para cada cenário foi obtido por meio do programa Netuno, sendo de 26.000 L, 22.000 L e 24.000 L para o primeiro, segundo e terceiro cenários, respectivamente. Para os três cenários foi adotado, portanto, reservatório inferior de 25.000 L. Foi prevista a instalação dos dispositivos necessários para captação de água de chuva para cada um dos cenários, além da instalação de reservatório inferior com capacidade de 25.000 L, reservatório superior de 500 L e demais equipamentos necessários. Dessa forma, o percentual de economia de água potável da concessionária, estimado por meio

do programa Netuno, foi de 54,00% para o primeiro cenário, 49,03% para o segundo e 53,21% para o terceiro.

Além disso, foram realizados orçamentos para a implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva propostos e a viabilidade econômica das instalações dos mesmos foi avaliada. O primeiro cenário não apresentou viabilidade econômica, enquanto o segundo cenário apresentou tempo de retorno do investimento de 127 meses e o terceiro de 183 meses.

A qualidade da água de chuva também foi verificada por meio da execução de ensaios em duas amostras de água de chuva coletadas na fábrica. As duas amostras de água cumpriram com os critérios estabelecidos pela NBR 15900 (ABNT, 2009). Dessa forma, a água de chuva coletada mostrou-se apropriada para utilização na confecção do concreto e nas atividades de corte de peças e limpeza de pistas, conforme previsto nos cenários de implantação simulados neste trabalho. Dentre as análises realizadas, foram moldados corpos de prova de concreto com as duas amostras coletadas, água destilada e água do poço artesiano. Os corpos de prova de concreto feitos com as amostras de água de chuva apresentaram resistência média semelhante à dos moldados com água destilada e superior à resistência do concreto feito com água do poço. Entretanto, embora as amostras de água de chuva coletadas tenham sido aprovadas nos critérios da NBR 15900 (ABNT, 2009), são necessárias análises periódicas para confirmar que a água de chuva é adequada para uso no amassamento do concreto.

Além do retorno financeiro que pode ser proporcionado por meio da implantação de sistema de aproveitamento de água, estes sistemas promovem o uso sustentável da água e contribuem para a imagem da empresa que os utiliza. Empresas que adotam estratégias sustentáveis, como a coleta e utilização de água de chuva, possuem maior visibilidade e demonstram aos clientes que possuem preocupação em diminuir o impacto causado no meio ambiente.

## 5.2. Limitações do estudo

As principais limitações deste trabalho foram as seguintes:

- Não foi elaborado projeto completo de instalação de calhas e condutores verticais e horizontais;

- Foram realizadas somente duas coletas de água de chuva para avaliar sua qualidade. A NBR 15900 (ABNT, 2009) indica que devem ser realizadas análises periódicas da qualidade da água de chuva;
- Falta de precisão nas estimativas de consumo de água.

### 5.3. Sugestões para trabalhos futuros

Ao fim deste trabalho, seguem algumas sugestões para elaboração de trabalhos futuros:

- Realizar ensaios com maior quantidade de amostras de água de chuva para atestar se a água da chuva coletada é apropriada para utilização no concreto;
- Verificar o potencial de economia de água potável utilizando sistemas de reuso de água cinza para fabricação de concreto, aliados ou não a sistemas de aproveitamento de água de chuva;
- Analisar de forma detalhada o consumo de água e os usos finais de água em fábricas e canteiros de obra;
- Implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva em canteiros de obra;
- Implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva em outros tipos de fábricas.

## Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**, Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900 – Água para amassamento do concreto**, Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607 – Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega**, Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697 – Cimento Portland – Requisitos**, Rio de Janeiro, 2018a.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626 – Instalação predial de água fria**, Rio de Janeiro, 1998.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, Rio de Janeiro, 2015
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2018b.
- AL-GHUSAIN, I.; TERRO, M. Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait. **Kuwait journal of science and Engineering**, v. 30, n. 1, p. 213-228, 2003.
- AMOS, C. C.; RAHMAN, A.; GATHENYA, J. M. Economic Analysis and Feasibility of Rainwater Harvesting Systems in Urban and Peri-Urban Environments: A Review of the Global Situation with a Special Focus on Australia and Kenya. **Water**, v. 8, n. 4, p.149, 2016.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017. 169p. Disponível em <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em 06 de março de 2018.
- BB. **Banco do Brasil**. Disponível em: <<http://www.bb.com.br>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.
- BEDOYA-MONTOYA, C. M.; MEDINA-RESTREPO, C. A. El concreto elaborado con aguas lluvia como aporte ambiental desde la construcción. **Revista Facultad de Ingenieria**. v. 25, n. 41, p. 31-39, 2016.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011



- CAMPISANO, A.; BUTLER, B.; WARD, S.; BURNS, M. J.; FRIEDLER, E.; DEBUSK, K.; FISHER-JEFFES, L. N.; GHISI, E.; RAHMAN, A.; FURUMAI, H.; HAN, M. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. **Water Research**, v. 115, p.195-209, 2017.
- CASAN. **Companhia Catarinense de Águas e Saneamento**. Disponível em: <<https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/industrial#0/>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.
- CELESC. **Centrais Elétricas de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://novoportal.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-maisfrequentes/1140-tarifa>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.
- CIMENTO ITAMBÉ. **Água da chuva para produzir concreto. É possível?** 2015. Disponível em <<http://www.cimentoitambe.com.br/agua-da-chuva-para-produzir-concreto/>>. Acesso em 06 de março de 2018.
- FERNANDES, L. F. S.; TERÊNCIO, D. P. S.; PACHECO, F. A. L. Rainwater harvesting systems for low demanding applications. **Science of the Total Environment**, v. 529, p. 91-100, 2015.
- GHISI, E. **Instalações Prediais de Água Fria**. Florianópolis, 2016. (Apostila).
- GHISI, E.; BRESSAN, D. L.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1654-1666, 2007.
- GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4. Programa computacional**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.
- GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2007.
- GHISI, E.; SCHONDERMARK, P. N. Investment feasibility analysis of rainwater use in residences. **Water resources management**, v. 27, n. 7, p. 2555-2576, 2013.
- GIKAS, G. D.; TSIHRINTZIS, V. A. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. **Journal of Hydrology**, v. 466, p.115-126, 2012.
- GIKAS, G. D.; TSIHRINTZIS, V. A. Effect of first-flush device, roofing material, and antecedent dry days on water quality of harvested rainwater. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 27, p. 21997-22006, 2017.

- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 02 de outubro de 2018.
- INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 30 de agosto de 2018.
- KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 75-90, 2006.
- LOPES, A. P. de G.; MIRANDA, D. A. Análise crítica de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial Estudo comparativo dos municípios de Belo Horizonte (MG), Recife (PE) e Rio Branco (AC). **Scientia cum Industria**, v. 4, n. 2, p. 87-91, 2016.
- MCCORMACK, M.; TRELOAR, G. J.; PALMOWSKI, L.; CRAWFORD, R. Modelling direct and indirect water requirements of construction. **Building research and information**, v. 35, n. 2, p. 156-162, 2007.
- MENDEZ, C. B.; KLENZENDORF, J. B.; AFSHAR, B. R.; SIMONS, M. T.; BARRETT, M. E.; KINNEY, K. A.; KIRISITS, M. J. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, v. 45, n. 5, p. 2049-2059, 2011.
- MELIDIS, P.; AKRATOS, C. S.; TSIHRINTZIS, V. A.; TRIKILIDOU, E. Characterization of rain and roof drainage water quality in Xanthi, Greece. **Environmental monitoring and assessment**, v. 127, n. 1-3, p. 15-27, 2007.
- MOREIRA NETO, R. F.; CARVALHO, I. D. C.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. D. F. Rainwater use in airports: A case study in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 68, p. 36-43, 2012.
- MORUZZI, R. B.; DE SOUSA JÚNIOR, W. C.; ARDUINO J.; DE JULIO, M. Avaliação do aproveitamento de água pluvial para atendimento de uso não potável no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 17-28, 2016.
- PESSARELO, R. **Estudo Exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: avaliação e fatores influenciadores**. Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Programa de Educação Continuada em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- PIMENTEL, D.; BERGER, B.; FILIBERTO, D.; NEWTON, M.; WOLFE, B.; KARABINAKIS, E.; CLARK, S.; POON, E.; ABBET, E.; NANDAGOPAL, S. Water Resources: Agricultural and Environmental Issues. **BioScience**, v. 54, n. 10, p. 909-918, Out. 2004.

- REZENDE, J. H.; TECEDOR, N. Aproveitamento de água de chuva de cobertura em edificações: dimensionamento do reservatório pelos métodos descritos na NBR 15527. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 6, p. 1040-1053, 2017.
- RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, v.11, n. 4, p. 47-64, 2011.
- SANTOS, C. P.; SILVA, S. R.; CERQUEIRA, C. A. Water consumption in construction sites in the city of Recife/PE. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 20, n. 7, p. 1711-1726, 2015.
- SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 71, p. 1-6, 2013.
- SANTOS, M. A. F. Qualidade da água de chuva armazenada em cisternas rurais e as modificações decorrentes do manuseio na região de Serrinha-BA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 2, n. 2, 2015.
- SCHIETTECATTE, W.; HELSEN, J.; BRAUNS, E. The use of rainwater as process water in a factory: software aided evaluation methodology and case studies. Ischia: **PRES**, 2007.
- SCHNEIDER. **Tabela para seleção de bombas e motobombas 2018**. Disponível em: <<http://www.schneider.ind.br/>>. Acesso em 25 de outubro de 2018.
- SILVA-AFONSO, A.; PIMENTEL-RODRIGUES, C. The importance of water efficiency in buildings in Mediterranean countries. The Portuguese experience. **International Journal of Systems Applications, Engineering & Development**, v. 1, n. 5, p. 17-24, 2011.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva – Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis**. Navegar Editora, São Paulo, 2010.
- ZHANG, X.; WU, Y.; SHEN, L. Embedding “green” in project-based organizations: the way ahead in the construction industry?. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 420-427, 2015.
- ZHONG, Y.; WU, P. Economic sustainability, environmental sustainability and constructability indicators related to concrete-and steel-projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 748-756, 2015.
- WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; SILVA, L.; RAMEEZDEEN, R. Application of “R” principles to enhance the efficiency of water usage in construction sites. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 7, n. 4, p. 400-412, 2017.

WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; SILVA, L.; RAMEEZDEEN, R. Water use efficiency and conservation during construction: drivers, barriers and practices. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 6, n. 5, p. 553-566, 2016.

WIKIPÉDIA. **São José (Santa Catarina)** 2018. Disponível em <  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/São\\_José\\_\(Santa\\_Catarina\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/São_José_(Santa_Catarina))>. Acesso em 20 de agosto de 2018.

## Apêndice A – Orçamento dos materiais

**Tabela A.1 – Orçamento dos materiais necessários para implantação do sistema de aproveitamento de chuva na fábrica**

Orçamento materiais					
Material	Valor (R\$)				
	Cassol	Balaroti	Leroy Merlin	Casa Ferreira	Valor adotado
Calha PVC semicircular 125 mm (m)	24,00	-	-	-	24,00
Bocal para calha PVC 125 mm x 88 mm (un)	36,90	-	-	-	36,90
Suporte para calha semicircular 125 mm (un)	6,60	-	-	-	6,60
Cabeceira esquerda calha PVC 125 mm (un)	9,90	-	-	-	9,90
Cabeceira direita calha PVC 125 mm (un)	9,90	-	-	-	9,90
Abraçadeira para condutor circular PVC 88 mm (un)	8,00	-	5,67	-	5,67
Condutor circular PVC 88 mm (m)	20,30	-	13,04	-	13,04
Conector para condutor circular 88 mm (un)	7,10	-	5,83	-	5,83
Joelho de transição PVC 88 mm x 100 mm (un)	16,90	-	12,31	-	12,31
Tubulação PVC 25 mm (m)	1,77	2,32	2,33	-	1,77
Tubulação PVC 100 mm (m)	7,48	8,24	6,65	-	6,65
Tubulação PVC 150 mm (m)	19,98	23,54	34,12	-	19,98
Tubulação PVC 200 mm (m)	48,32	40,28	-	-	40,28
Caixa de inspeção (un)	199,90	191,16	159,92	-	159,92
Joelho 90° PVC 25 mm (un)	0,55	0,63	0,55	-	0,55
Joelho 90° PVC 100 mm (un)	6,60	4,87	5,35	-	4,87
Joelho 45° PVC 150 mm (un)	36,90	36,36	53,35	-	36,36
Joelho 90° PVC 150 mm (un)	34,90	35,21	52,72	-	34,90
Joelho 45° PVC 200 mm (un)	70,90	63,20	-	-	63,20
Joelho 90° PVC 200 mm (un)	114,90	103,72	-	-	103,72
Tê PVC 150 mm x 100 mm (un)	38,90	38,40	56,72	-	38,40
Tê PVC 100 mm x 100 mm (un)	11,70	9,77	13,91	-	9,77
Tê PVC 150 mm x 150 mm (un)	42,90	42,91	64,72	-	42,90
Tê PVC 200 mm x 200 mm (un)	144,90	135,30	-	-	135,30
Redução excêntrica PVC 150 mm x 100 mm (un)	17,90	14,38	22,32	-	14,38
Redução excêntrica PVC 200 mm x 150 mm (un)	40,90	37,28	-	-	37,28
Luva PVC 25 mm (un)	0,65	0,65	0,58	-	0,58
Luva PVC 100 mm (un)	5,00	3,98	5,51	-	3,98

**Tabela A.1 – Orçamento dos materiais necessários para implantação do sistema de aproveitamento de chuva na fábrica (Continuação)**

<b>Orçamento materiais</b>					
<b>Material</b>	<b>Valor (R\$)</b>				
	<b>Cassol</b>	<b>Balaroti</b>	<b>Leroy Merlin</b>	<b>Casa Ferreira</b>	<b>Valor adotado</b>
Luva PVC 150 mm (un)	19,90	19,99	30,32	-	19,90
Luva PVC 200 mm (un)	24,90	35,85	-	-	24,90
Motobomba Centrífuga 1Cv Schneider BC-91S (un)	829,90	-	-	-	829,90
Chave Boia Fame 16A 250V (un)	39,90	-	-	-	39,90
Válvula Solenoide Thermoval 21884 2 Vias 3/4" NF 150PSI Viton 220Vac (com frete) (un)	-	-	-	253,05	253,05
Caixa d'água polietileno 500 L (un)	159,90	-	141,52		141,52
Caixa d'água fibra de vidro 25.000 L	-	-	7544,72		7544,72

## Apêndice B – Quantitativos dos materiais

**Tabela B.1 – Quantitativos dos itens necessários para implantação dos três cenários propostos**

Quantitativos			
Material	Primeiro cenário	Segundo cenário	Terceiro cenário
Calha PVC semicircular 125 mm (m)	1393	219	535
Bocal para calha PVC 125 mm x 88 mm (un)	135	30	79
Suporte para calha semicircular 125 mm (un)	2322	365	892
Cabeceira esquerda calha PVC 125 mm (un)	14	7	10
Cabeceira direita calha PVC 125 mm (un)	14	7	10
Abraçadeira para condutor circular PVC 88 mm (un)	135	30	79
Condutor circular PVC 88 mm (m)	774	144	438
Conector para condutor circular 88 mm (un)	246	36	134
Joelho de transição PVC 88 mm x 100 mm (un)	135	30	79
Tubulação PVC 25 mm (m)	40	40	40
Tubulação PVC 100 mm (m)	330	114	198
Tubulação PVC 150 mm (m)	1230	404	858
Tubulação PVC 200 mm (m)	2225	515	384
Caixa de inspeção (un)	160	40	56
Joelho 90° PVC 25 mm (un)	3	3	3
Joelho 90° PVC 100 mm (un)	17	7	9
Joelho 45° PVC 150 mm (un)	5	3	5
Joelho 90° PVC 150 mm (un)	1	0	1
Joelho 45° PVC 200 mm (un)	2	0	2
Joelho 90° PVC 200 mm (un)	2	0	2
Tê PVC 150 mm x 100 mm (un)	27	7	25
Tê PVC 100 mm x 100 mm (un)	14	6	14
Tê PVC 150 mm x 150 mm (un)	2	2	2
Tê PVC 200 mm x 200 mm (un)	42	8	34
Redução excêntrica PVC 150 mm x 100 mm (un)	68	14	36
Redução excêntrica PVC 200 mm x 150 mm (un)	64	10	34
Luva PVC 25 mm (un)	6	6	6
Luva PVC 100 mm (un)	29	11	15
Luva PVC 150 mm (un)	139	54	99
Luva PVC 200 mm (un)	165	6	39
Motobomba centrífuga 1 cv Schneider BC-91S (un)	2	2	2
Chave Boia Fame 16A 250V (un)	2	2	2
Válvula Solenoide Thermoval 21884 2 Vias 3/4" NF 150PSI Viton 220Vac (com frete) (un)	2	2	2
Caixa d'água polietileno 500 L (un)	1	1	1
Caixa d'água fibra de vidro 25.000 L	1	1	1